



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES



ANÁLISIS EPISTEMOLÓGICO DEL DISCURSO CIENTÍFICO ASOCIADO A LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM) EN MÉXICO DESDE LA PERSPECTIVA CONSTRUCTIVISTA DEL CONOCIMIENTO DE JEAN PIAGET Y ROLANDO GARCÍA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN SOCIOLOGÍA

PRESENTA

CLAUDIA CAROLINA MARTÍNEZ REYES

CTA. 306087440

ASESOR DE TESIS: DR. JOSÉ A. AMOZURRUTIA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Junio 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, quienes me han apoyado incondicionalmente en cada una de las etapas de mi desarrollo académico. En primer lugar agradezco a mi madre por ser un ejemplo de fortaleza, dedicación y esfuerzo, a Emma por ser un estímulo para mi desarrollo intelectual, agradezco también a mi hermano su cariño, consejo y motivación para alcanzar esta meta. A mi abuelo por mostrarme que el camino del conocimiento es la mejor herramienta para la vida. A mi abuela por su sabiduría, su amor y su ternura, a mi tía Soco por su respaldo y su cariño, a mi tía Yola por ser mi guía y mi amiga, a mi tía Male por su afecto y sus recomendaciones. A mis tíos Emiliano, Jorge, Carlos, Vicente, Mario y Efra. A mis primos Daniel, Citlalli, Arturo, Nadia, Jorge, Valentina y Rodrigo por los incontables momentos de alegría.

Agradezco también de manera especial a mi asesor, el Dr. José Antonio Amozurrutia ya que sin su constante apoyo y puntual orientación este trabajo no hubiera sido posible. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis sinodales Dra. Adriana Murguía; Dra. Teresa de la Vega, Dra. Lorena Umaña y Dra. Margarita Mass porque sus comentarios y observaciones han fortalecido este trabajo.

A mis compañeros del Seminario de Epistemología Genética a cargo del Dr. Amozurrutia, Ilse, Diego y Rebeca por sus valiosos comentarios durante la realización de este proyecto. A la Mtra. Haydeé García Bravo, a la Mtra. Leonor García Urbano y a la Dra. Aleida Hernández Cervantes por la beca otorgada para la realización del Diplomado de Actualización Profesional en Investigación Interdisciplinaria impartido en el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH-UNAM).

A mis amigos Sandra, Mario, Jorge, Zaid, América, Marlene, Alan, Olga, Anabel, Dalila. Esme, David, Max y todos aquellos que me han acompañado en este camino, muchas gracias.

INDÍCE GENERAL

Introducción	6
CAPÍTULO I	8
1.1 El problema práctico: producción y consumo de transgénicos en México	8
1.2 Antecedentes del cultivo de OGM en México	15
1.3 Actores y construcción de observables.....	16
1.3.1 Argumentos a favor de los OGM en el discurso científico de divulgación	17
1.3.2 Alusión a los beneficios ambientales de los OGM.....	20
1.3.3 Alusión a la metáfora de progreso en ciencia y tecnología	21
1.3.4 Analogías en torno a otros procesos históricos y sociales	22
1.3.5 Las promesas de beneficios económicos y nutricionales futuros	23
1.3.6 Negación/reconocimiento del riesgo	24
1.4 Argumentos en contra de los transgénicos en el discurso científico de divulgación.....	26
1.4.1 El poder de las transnacionales.....	26
1.4.2 Contaminación genética.....	30
1.5 Aspectos históricos de la construcción de la biología molecular	33
1.5.1 Fisicalización de la biología	34
1.6 La biotecnología como problema de conocimiento.....	35
1.6.1 La visión reduccionista en la ciencia	36
1.6.2 Participación social en la toma de decisiones que involucran a la tecnociencia.	40
1.6.3 Relaciones conocimiento-naturaleza-sociedad.....	43
1.6.4 Imperativos económicos en la construcción del conocimiento tecno-científico	45
1.6.5 Compromisos ontológicos y premisas epistemológicas que permitieron la construcción de la ciencia moderna.	46
1.6.6 El paradigma reduccionista.....	48
1.6.7 La complejidad ambiental como alternativa epistémica.....	49
1.7 Componente epistémico-social para el análisis de la biotecnología.....	50
CAPÍTULO II	54
El complejo cognoscitivo: marco teórico para el análisis epistémico de la biotecnología en México.....	54
2.1 El constructivismo genético de Rolando García.....	55
2.2 Mecanismos cognoscitivos y operaciones epistemológicas básicas.....	57
2.2.1 Constataciones e inferencias.....	60

2.2.2 Forma y contenido	61
2.2.3 Procesos constructivos elementales	61
2.2.4 Correspondencias y transformaciones	63
2.2.5 Dinámica del desarrollo cognoscitivo	65
2.2.6 Seudonecesidades	69
2.3 Sociogénesis del conocimiento científico	69
2.4 La filosofía de la ciencia	71
2.5 La explicación científica	74
2.6 El conocimiento desde la propuesta de Maturana y Varela.....	79
2.6.1 Conceptos fundamentales	82
2.6.2 El conocimiento como fenómeno social.....	82
2.6.3 Explicación científica	84
2.6.4 Tautología cognoscitiva.....	85
2.6.5 Distinciones y unidades	85
2.6.6 Organización y Estructura	86
2.6.7 Autopoiesis	86
2.6.8 Acoplamiento estructural.....	87
2.6.9 Clausura operacional	87
2.7 La perspectiva de la Teoría general de los sistemas de Ludwig Von Bertalanffy.....	88
2.7.1 Breve historia del pensamiento sistémico.....	88
2.7.2 Principales aportaciones de la teoría de sistemas	90
CAPÍTULO III.....	96
3.1 Construcción de un sistema complejo para el análisis de la biotecnología	96
3.1.2 Componentes de un sistema complejo.....	97
3.1.3 Metodología de trabajo interdisciplinario.....	99
3.2 Revisión documental: identificación de mecanismos cognitivos en la selección de comunicaciones científicas en torno a la producción de conocimiento aplicado a la ingeniería genética, análisis epistémico del discurso de divulgación científica en torno a los Organismos Genéticamente Modificados.....	104
3.2.1 Marco epistémico	105
3.2.2 Significaciones.....	110
3.2.3 Asimilación/Acomodación	111
3.2.4 Abstracción Empírica/Generalización Inductiva.....	113

3.2.5 Diferencias e Integraciones	116
3.2.6 Correspondencias y Transformaciones	117
3.2.7 Relaciones Causales	117
3.2.8 Abstracción Reflexiva/ Generalización Compleativa.....	119
3.2.9 Mecanismos Intra, Inter y Trans Operacionales	121
3.3 Implicaciones de la perspectiva de Maturana y Varela en el análisis epistemológico de la biotecnología agrícola.	123
3.4 Implicaciones de la propuesta sistémica en el análisis epistemológico de la biotecnología agrícola.....	127
3.4.1 Lenguaje, percepción y realidad	129
3.3 El Campo cognoscitivo	131
Conclusiones	140
Bibliografía	149

Introducción

Este trabajo sostiene que muchas de las consecuencias no esperadas de la aplicación de la biotecnología al sector agrícola (como la contaminación génica, la mutación de las plantas, la pérdida de la biodiversidad, el despojo de territorios a comunidades) son el resultado de no analizar el fenómeno de los alimentos transgénicos como un *fenómeno complejo* es decir que está integrado por elementos heterogéneos en interacción. Para ello es necesario hacer un análisis sobre las premisas y supuestos sobre los cuales se ha construido el tipo de ciencia que posibilita la construcción de estos organismos.

El objetivo de esta investigación es mostrar que las premisas epistemológicas presentes en el discurso científico de divulgación sobre los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) están insertas en la tradición cartesiana/empirista/positivista de la ciencia que asume que es posible prever el estado final de un fenómeno a partir de sus condiciones iniciales y presupone además que es posible obtener conocimiento con base exclusivamente en las observaciones empíricas.

Las preguntas que guían esta investigación son: ¿Cuáles son las premisas y supuestos de los que parten los investigadores en biotecnología agrícola para producir conocimiento enfocado en la creación de OGM en México?; ¿Cuál es el proceso histórico/social que permitió la generación de conocimiento aplicado a la creación de OGM? y ¿Qué mecanismos cognoscitivos utilizan los investigadores a favor de los OGM en México para construir sus argumentaciones?

Este trabajo se encuentra dividido en tres capítulos: en el primero hacemos una recapitulación breve de los principales sucesos históricos en torno a la producción y consumo de OGM en México desde la creación del primer transgénico (en el país) hasta la más reciente investigación que afirma que un alto porcentaje de las tortillas que se consumen en México contienen secuencia de ADN modificado.

En este mismo capítulo, hacemos un análisis histórico del surgimiento de la biología molecular ya que en su versión clásica es el soporte teórico de la construcción y diseño de OGM en el mundo. Además, incluimos argumentos a favor y en contra de esta tecnología.

Entre los autores que se encuentran a favor podemos mencionar a Francisco Bolívar Echeverría y a Luis Herrera Estrella; entre los que están en contra tenemos a Elena Álvarez-Buylla y a Silvia Ribeiro.

Asimismo abordamos el problema de los alimentos transgénicos como un problema de conocimiento. Para ello incluimos las voces de filósofos de la ciencia, filósofos de la biología y epistemólogos como Richard Lewontin, Julio Muñoz, Enrique Leff, León Olivé, entre otros.

En el segundo capítulo describimos la arquitectura conceptual, el cuerpo teórico y las implicaciones metodológicas y epistemológicas de esta perspectiva. En primer lugar describimos la propuesta teórica de la epistemología genética y en segundo lugar agregamos las perspectivas de Maturana y Varela y de Bertalanffy debido a que constituyen los antecedentes que refuerzan y complementan la propuesta epistemológica.

En la última parte del trabajo, hacemos un esbozo general del sistema complejo que pudimos configurar de acuerdo a la teoría de los sistemas complejos de Rolando García, poniendo énfasis en el componente epistemológico. También hacemos un análisis de los mecanismos cognitivos que están presentes en el discurso del Dr. Francisco Bolívar Zapata, el principal promotor de la ingeniería genética aplicada a la agricultura en nuestro país.

Por último aplicamos el modelo de los Campos cognoscitivos, propuesta por Amozurrutia (2016) en torno al discurso de Bolívar Zapata (2004), (2017) y Herrera Estrella (2004).

CAPÍTULO I

1.1 El problema práctico: producción y consumo de transgénicos en México

De acuerdo con José Antonio Serratos (2009), en 1988 productores de tomate de Sinaloa solicitaron a la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) de la Secretaría de Agricultura (SAGARPA) un permiso para hacer pruebas en campo con un jitomate modificado por ingeniería genética. Este acontecimiento dio origen a la discusión sobre bioseguridad en México.

En 1995 se liberó el tomate FlavrSavr de larga vida (obtenido a partir de la inserción de un gen de pez) que fue el primer OGM en comercializarse en EU, fue sembrado en Sinaloa. (Massieu 2002) Un año más tarde, en 1996 estos tomates son retirados del mercado ya que la manipulación del gen de la maduración presentaba consecuencias imprevistas como la piel blanda, un sabor extraño y cambios en la composición del tomate, además de que era más costoso que el tomate no modificado. (FAO, 2001)

Debido al aumento de solicitudes de experimentación y comercialización de OGM's se hace necesaria una legislación pertinente, por ello en 1992 se redactó el Convenio de Diversidad Biológica (CBD) a cargo de la ONU, cuyo propósito fue la elaboración de un protocolo internacional para el movimiento transfronterizo de Organismos Vivos Modificados (OVM). Este convenio se realizó en el marco de la reunión conocida como Cumbre de la Tierra, en Rio de Janeiro en 1992 en la que México fue partícipe. El principio 15 de la declaración de Río establece el principio precautorio y afirma que "Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente." (Serratos, 2009)

En 1998 se solicitaron los primeros permisos para la siembra de algodón transgénico en miles de hectáreas. Dos años antes, en 1996, comenzaron las siembras experimentales de algodón amparadas por la publicación de la Norma Oficial Mexicana (NOM-056-FITO-1995) en Sonora, Coahuila, Sinaloa y Chihuahua. (Serratos, 2009). A pesar de que la liberación al ambiente de algodón transgénico se ha restringido al norte del país, a 19 años de su introducción se han detectado transgenes en la mitad de la población de algodón silvestre,

situación crítica si tomamos en cuenta que México es centro de origen y diversidad del algodón. (Serratos 2009)

En ese mismo año se estableció una moratoria de facto para pruebas de campo con maíz transgénico por parte de SAGARPA, misma que comenzó a funcionar en 1999. En ese periodo, un grupo de científicos encabezados por el Dr. José Sarukhán, ex rector de la UNAM, solicitaron en una carta al entonces presidente Ernesto Zedillo para que se establezcan las bases regulatorias para los OGM. Esto contribuyó a la creación de la CIBIOGEM integrado por un consejo consultivo de expertos para asesoría entre los cuales se encontraba la Dra. Michel Chauvet del grupo Sociedad y Biotecnología de la UAM-Azcapotzalco (quien fue la única representante de Ciencias Sociales); la Dra. Amanda Gálvez biotecnóloga de la UNAM y el Dr. José Luis Solleiro, quien desató polémica tras ser nombrado presidente del consorcio Agrobio, interesado en la promoción de los transgénicos en México. (Massieu; 2009). Para Serratos, la creación del CIBIOGEM significó una modificación en los preceptos básicos y filosofía del CDB ya que muestra contradicciones: empieza argumentando que la biotecnología se ha expandido por todo el mundo con resultados positivos en el mejoramiento de los granos y el aumento de la producción y que México debe aprovechar los beneficios que ofrece la biotecnología, y más adelante sugiere que la prioridad del gobierno es la protección de la biodiversidad para que no se vea afectada por la liberación de los Organismos Genéticamente Modificados sin establecer claramente cómo conciliará ambos intereses -por un lado la desregulación progresiva y por otro la conservación de la variedad genética de especies vegetales-. (Serratos 2009).

En el año 2000, representantes de 130 países en Montreal, Canadá adoptaron los acuerdos contenidos en el Protocolo de Cartagena sobre Riesgos Biotecnológicos (acuerdos iniciados entre 1992 y 1999). Sin embargo estos acuerdos resultan contradictorios, ya que mientras se refrenda el principio precautorio, se considera que el protocolo no puede estar por encima de los acuerdos comerciales, lo que prácticamente invalida el principio precautorio en casos en los que se hayan firmado tratados de libre comercio. (Massieu, 2006). Este protocolo fue puesto en marcha por el gobierno mexicano en 2003.

En 2001, los científicos Ignacio Chapela y David Quist de la Universidad de Berkeley en California publicaron el hallazgo de maíz transgénico en la Sierra Norte de Oaxaca a pesar

de la moratoria de facto establecida en 1999. La revista *Nature* que inicialmente publicó el artículo, lo descalificó y lo retiró de sus publicaciones. Sin embargo, los científicos ya habían notificado al Instituto Nacional de Ecología (INE). Investigadores de este instituto encabezados por el Dr. Exequiel Ezcurra decidieron llevar a cabo otra investigación con apoyo de científicos de la UNAM y del CINVESTAV, en la cual se probó la presencia de maíz transgénico en los estados de Oaxaca y Puebla (Massieu 2009; Serratos 2009). A partir de esta investigación se conformó un comité de trabajo con la participación de investigadores de diversas disciplinas con el objetivo de realizar un estudio de gran magnitud en Oaxaca y Puebla, a través del muestreo extensivo del maíz de ambos estados para así determinar el origen del maíz transgénico y su grado de dispersión. Sin embargo, Serratos afirma que los resultados de esta investigación no se dieron a conocer en México ni tampoco se establecieron programas, acciones o proyectos de gobierno para enfrentar la situación (Serratos 2009).

Sobre esta controversia, Elena Álvarez Buylla, Doctora en genética y Coordinadora del Laboratorio de Genética Molecular del Desarrollo y Evolución de las Plantas del Instituto de Ecología de la UNAM, señala que un grupo de científicos mandaron una serie de cartas a la revista *Nature* en las que criticaron las técnicas y las conclusiones del estudio de Chapela y Quist. Argumentaron que la técnica que utilizaron (Reacción en Cadena de la Polimerasa, PCR)¹ existen artefactos² que pueden afectar o alterar la interpretación de sus resultados ya que el promotor 35 S Virus del mosaico de coliflor³ es muy parecido al del genoma natural del maíz. (Massieu, 2009)

Por su parte, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizaron un estudio en Oaxaca. El tamaño de la muestra fueron 162 parcelas de maíz de las cuales 5 presentaron contaminación por OGM. Este estudio sirvió

¹ Técnica basada en la replicación *in vitro* (en un tubo de ensayo en lugar de un organismo) de segmentos específicos de ADN. Esta técnica permite amplificar regiones de ADN para su análisis detallado.

² Error de observación producido en un proceso de medición. Concepto utilizado para indicar cualquier distorsión percibida y/o cualquier otro error de datos causado por un instrumento de la observación o medición, el cual puede provocar una mala interpretación o resultados erróneos.

³ Es una secuencia de un virus del mismo nombre que ha sido el promotor más utilizado en la transformación genética de plantas. La utilización de este virus está sujeta a controversias ya que ha sido progresivamente modificado para expresarse de manera independiente a su contexto genómico. Se ha documentado que puede activar y dirigir la expresión de genes que se encuentran río abajo del sitio de inserción de la construcción transgénica que lo contiene. Estos genes pueden ser endógenos o propios del organismo transformado genéticamente y no precisamente los genes de interés; puede también cortar y pegar secuencias de ADN de manera aleatoria en los organismos en los cuales se inserta. (Álvarez Buylla;2008:98)

para que se difundiera en los medios de comunicación la versión de que era un “hecho” que había una disminución de la presencia de maíz transgénico en la entidad y afirmaban que era sólo cuestión de tiempo para que desapareciera por completo. (Serratos 2009)

También Ezequiel Ezcurra, presidente del Instituto de Ecología de la UNAM y CONABIO realizaron investigaciones conjuntas y llegaron a la conclusión de que hay contaminación en maíces criollos de Oaxaca y Puebla. Envío sus resultados a la revista *Nature* y fueron rechazados. Más tarde, en 2004 Ezcurra es nombrado director de Investigación Científica del Museo de Historia Natural de San Diego, California. Para el siguiente año, en 2005, confirmó un estudio publicado en *Proceedings of the Nature of Sciences* (PNAS) que pertenece a la Academia de Ciencias de Estados Unidos en el que se afirma que no hay transgenes en las variedades locales de maíz oaxaqueño. Este estudio contradecía las primeras investigaciones del propio Ezcurra que ya habían sido presentadas con anterioridad en la Conferencia Internacional *LMOS and the Enviromental*. (Pérez-Flores, 2014, 236).

La excolaboradora de Ezcurra Elena Álvarez fue apartada del equipo de investigación y desarrolló sus propias investigaciones dentro del INE en las cuales ha cuestionado el rigor metodológico de los trabajos de Ezcurra ya que fueron publicados sin estar concluidos. Además existen anomalías ya que no hubo evaluación independiente que corroborara los resultados, ya que éstos se basaron únicamente en las muestras de maíces de Oaxaca que se enviaron al laboratorio comercial estadounidense Genetic ID, en los cuales se concluyó que la contaminación había desaparecido. En 2010 la Dra. Álvarez difundió en el periódico *La Jornada* la poca credibilidad del laboratorio ya que enviaron unas muestras de maíz en las que ya se había comprobado la existencia de transgenes y los resultados del laboratorio mostraron que no había contaminación, es decir, el laboratorio no pudo detectar los transgenes que estaban presentes. (Pérez-Flores; 2014: 240)

Álvarez ha señalado un conflicto político en la comunidad científica referente a este tema que se alimenta de los financiamientos de las corporaciones biotecnológicas a las universidades, quienes otorgan los recursos, establecen programas de trabajo y metodologías e influyen directamente en la orientación de los resultados. Esto refleja, en opinión de la investigadora, un alto grado de infiltración de intereses corporativos en la investigación científica. (Pérez-Flores; 2014: 239)

En el contexto de las obligaciones asumidas mediante la firma del Protocolo de Cartagena, en 2003 el Senado aprobó una Ley de Bioseguridad basada en la iniciativa de Ley de la Academia Mexicana de Ciencias en la que se planteó la necesidad de “proteger la diversidad biológica y atender preventivamente los riesgos a la salud sin obstaculizar el comercio internacional”. Este punto resulta contradictorio ya que para el Senado de la República, es difícil proteger la diversidad y la salud si la obstaculización del libre flujo comercial es considerada como proteccionismo económico. (Massieu 2006).

Esta ley se aprobó en un contexto contradictorio ya que mientras la CIBIOGEM prohibía los experimentos con maíz transgénico, la Secretaría de Economía permitía la entrada de maíz para consumo humano (Massieu y Lechuga, 2002). Además de haber sido aprobada sin convocar a especialistas, movimientos sociales ni actores sociales interesados en el debate, la iniciativa de ley propuesta por la Academia Mexicana de Ciencias establece, en su artículo 13 que le corresponde a la SAGARPA evaluar caso por caso las evidencias que presenten los interesados para probar que los productos que ingresarán al país no son dañinos a la salud. (Massieu 2006) Este punto presenta especial interés ya que las organizaciones sociales han acusado a esta iniciativa de pretender convertir a las empresas biotecnológicas en juez y parte ya que son ellas las encargadas de realizar los estudios y presentar las pruebas de la inocuidad de sus productos sin que existan investigaciones independientes o verificación de pares. Pero aun cuando estas investigaciones fueran financiadas por instituciones públicas, mientras las patentes que involucran técnicas y metodologías estén en manos del sector privado (FAO, 2011) será difícil que los científicos del sector público tengan acceso a los productos y a las metodologías con las que fueron diseñados y por ende no podrán realizar investigaciones sobre las posibles consecuencias esperadas o inesperadas que resulten de su aplicación y distribución. (Massieu 2006)

La iniciativa de Ley en su página cuarta afirma que “México cuenta con la capacidad técnica y científica para competir con otras naciones en la generación y explotación de tecnología biológica y de productos terminados de alto valor agregado de origen biológico.” (Massieu 2006) Lo que demuestra un anhelo por “alcanzar al primer mundo”. Este es un argumento de carácter ideológico más que científico.

También en 2003 ocurrió un incidente que demuestra que es difícil controlar el destino de los productos OGM una vez que se han liberado: fue encontrado maíz star-link (autorizado únicamente para consumo animal debido a que se comprobó que causa alergias en los humanos), en productos para consumo humano en Estados Unidos que habían sido fabricados en México (Massieu 2002).

En 2006 se creó la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS). A partir de su inauguración, se promovieron foros sobre el maíz transgénico, uno de ellos a cargo de la Dr. Elena Álvarez Buylla, Bióloga Molecular de la UNAM reconocida por los estudios de flujo génico en los que se descubrió la contaminación en Oaxaca en 2002. También participaron Armando Bartra, Daniel Piñeyro Ecólogo de la UNAM, entre otros (Massieu; 2009).

Ese mismo año, se realizaron las primeras solicitudes para pruebas de campo de maíz transgénico solicitadas por CINVESTAV-aunque financiadas por Dow Jones y Monsanto- amparadas por la nueva Ley de Bioseguridad (Massieu; 2009).

A principios de 2007 se registró un alza en el precio del maíz y la tortilla debido a que la mayor parte de la producción estadounidense (principal proveedor) estaba destinada a la producción de etanol. La situación era insostenible y el gobierno federal trató de establecer un precio tope el que no fue respetado en muchas regiones del país. Esto dio pie a que las empresas biotecnológicas ingresaran más solicitudes para pruebas de campo argumentado que los cultivos transgénicos eran la única solución al desabasto del maíz. En el mismo periodo la prensa reportó un convenio entre la Confederación Nacional Campesina (CNC) y Monsanto para realizar investigaciones sobre la diversidad genética del maíz mexicano y que consiste en la inversión privada a universidades. (Massieu; 2009)

En este mismo periodo el Dr. José Antonio Serratos y sus colaboradores publicaron un artículo sobre el hallazgo de transgénos en maíces del D.F. (Serratos et al., 2007). Ante esta situación el gobierno de la capital anunció una “campaña en defensa de la soberanía alimentaria” que consistió en el monitoreo permanente de transgenes y la creación de un sello verde para el maíz nativo no transgénico del DF. Por lo visto, dicha iniciativa no prosperó.

En 2009 el gobierno autorizó la siembra de maíz transgénico a Monsanto, Syngenta, Pioneer, Dupont y Down.

A pesar de estos esfuerzos, hasta 2012 se han otorgado 57 permisos para sembrar maíz transgénico en Baja California Sur, Durango, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas entre 2009 y 2013 se otorgaron 169 permisos para siembra experimental de 121.6 ha de maíz transgénico en Nayarit, Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango. Asimismo el algodón transgénico se cultiva a escala comercial desde 2009 con una extensión de más de 100 mil ha. (Ruíz, 2012,4)

En este contexto, en 2012 la SAGARPA autorizó por primera vez a la empresa Monsanto la siembra de soya transgénica en 253 mil ha. de la península de Yucatán, la planicie huasteca y Chiapas. En esta zona es producida el 40% de la miel del país. Por ello, apicultores mayas litigaron ante los tribunales durante 3 años para se retirara la autorización. En marzo de 2014 las autoridades consiguieron un amparo que detuvo el permiso de Monsanto, la empresa apeló y el caso llegó a la Suprema Corte de Justicia y en noviembre de 2015 se cancelaron los permisos de siembra.

En 2013 se presentó una Demanda Colectiva que impide la siembra de maíz transgénico, además se solicita una medida precautoria que fue concedida por un juez federal que ordenó a la SAGARPA y SEMARNAT abstenerse de realizar actividades tendientes a otorgar permisos de liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado y suspender el otorgamiento de permisos de liberación experimental, piloto y comercial de este tipo de granos. (San Vicente, 2013) Sin embargo, hasta el 2014 se habían realizado 195 pruebas con maíz transgénico en Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas. (García, A; Toscana, A. 2016, 213)

En 2016 se levantó la suspensión para siembra experimental y programas piloto de Maíz genéticamente modificado en México y asimismo se destaca que 109 galardonados con el premio Nobel entre ellos James Watson (reconocido por haber descubierto la estructura del ADN) y la bioquímica Israelí Ada Yonath (quien esclareció la estructura del ribosoma) han firmado una carta contra la Organización Ecologista Greenpeace por su rechazo a los transgénicos. Aseguran que los alimentos transgénicos son tan seguros como los tradicionales

o inclusive más que éstos y afirman que nunca ha habido un solo caso de daños contra la salud de humanos o animales (Ansedo; 2016)

En septiembre de 2017, la Dra. Elena Álvarez-Buylla realizó una investigación en la que concluyó que el 90% del maíz de las tortillas en México contienen secuencias de maíz transgénico y restos del herbicida glifosato (DGCS, UNAM, 2017), que es probable cancerígeno para el humano (OMS). Este maíz proviene de laboratorios de Estados Unidos principalmente e ingresa al país como parte de las 10 millones de toneladas que se importan anualmente como parte del TLCAN.

1.2 Antecedentes del cultivo de OGM en México

Desde los años cincuenta, México ha sido el laboratorio experimental más grande de los Estados Unidos. En 1943 empresas estadounidenses como Ford, Kellogg's, la fundación Rockefeller y el Banco Mundial financiaron un programa piloto para aumentar la producción de granos básicos en el Valle del Yaqui, Sonora, a través de la selección de semillas de alto rendimiento y la utilización a gran escala de herbicidas y pesticidas. Este proceso de transformación de la agricultura, conocida como Revolución verde, tiene sus inicios en los años inmediatamente posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Al término de la guerra, los países industrializados, (Estados Unidos principalmente) tenían un alto excedente de tecnología militar que adaptaron a usos civiles ante la imposibilidad de seguirla empleando con fines bélicos. Por ejemplo, los tractores fueron diseñados a partir de la fabricación de tanques; la fabricación de agrotóxicos inicialmente se desarrolló como resultado de las investigaciones para producir armas químico-biológicas y la tecnología nuclear empleada en técnicas para el control de plagas y la conservación de alimentos. (Ceccon; 2008)

La Revolución Verde se basó en la selección de semillas de alto rendimiento obtenidas mediante cruces e hibridaciones realizadas en laboratorio con el fin de obtener una nueva variedad vegetal con las características deseadas (mayor rendimiento, mejor calidad de grano etc.). Este proceso se conoce como fitomejoramiento.

El discurso de justificación de la RV fue el planteamiento de la histórica misión de acabar con el hambre en el mundo. Sin embargo, como bien lo señala Ceccon (2008), la producción masiva de alimentos y su distribución global equitativa son dos procesos separados por la

economía de mercado, en la que la población tiene acceso a los alimentos en la medida en la que tiene el suficiente poder adquisitivo.

Si bien la RV tuvo efectos positivos en el aumento de la producción, no fue así para los pequeños propietarios, los campesinos de autoconsumo ni para el medio ambiente. En primer lugar, aumentó la brecha de desigualdad entre los grandes y pequeños propietarios, el uso de agroquímicos y maquinaria agrícola sólo está disponible para un número reducido de agricultores, el resto recurre a los créditos con altas tasas de interés o al abandono del campo, la venta de sus tierras y la migración. Propietarios, ejidatarios y comuneros han sido expropiados de sus tierras en beneficio de empresas agrícolas, lo que provoca que los antiguos propietarios y comunidades enteras se conviertan en jornaleros con empleos eventuales y precarios.

Por otra parte, el medio ambiente también se vio seriamente afectado ya que el uso de agrotóxicos aumentó como resultado del desarrollo de mutaciones genéticas en plagas como consecuencia de la eliminación de sus enemigos naturales (también víctimas de los agrotóxicos) y por la exposición constante al pesticida, así como también la reducción de la fertilidad del suelo debida a la baja o nula actividad microbiana y la pérdida de fauna de suelo como consecuencia del monocultivo y por último, la contaminación de las aguas subterráneas. (Ceccon; 2008)

1.3 Actores y construcción de observables

El conjunto de actores involucrados en la problemática en torno a la introducción y consumo de OGM en México es extensa e incluye a empresas multinacionales, al Estado en sus distintos niveles y escalas; a los agricultores de OGM y a los que no lo son, a los científicos que desarrollan conocimiento en torno al tema y a los que lo critican, a la comunicación periodística y a los consumidores. En esta investigación los observables estarán constituidos por una selección de argumentos que presentan científicos de distintas disciplinas en torno a los alimentos transgénicos.

Sin embargo este trabajo se enfoca en el discurso científico asociado a la producción y consumo de OGM en México, teniendo en cuenta que es necesaria la integración y análisis del resto de los actores para investigaciones posteriores.

En esta sección presentaré un conjunto de comunicaciones científicas de actores que están a favor y en contra del consumo y producción de transgénicos en México. Dichas comunicaciones se encuentran publicadas en el libro *Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*, coordinado por Julio Muñoz Rubio y editado por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM y por Siglo XXI en 2004.

1.3.1 Argumentos a favor de los OGM en el discurso científico de divulgación

En esta sección presento un listado de argumentos a favor de la aplicación de la biotecnología en la industria agrícola. Dichas afirmaciones se encuentran agrupadas en distintas secciones tales como: beneficios ambientales, metáforas del progreso en ciencia y tecnología, analogías en torno a procesos históricos y sociales, beneficios económicos y nutricionales y negación/reconocimiento o minimización del riesgo. A continuación hacemos un breve recuento de los argumentos a favor para después analizar las secciones antes mencionadas.

Entre los argumentos a favor de los OGM en México que pudimos identificar en esta publicación se encuentra los de Herrera y Martínez (2004; 29) quienes argumentan que “la ciencia, puede contribuir a aliviar o mitigar muchos de los problemas derivados de la escases de alimentos” y por ello uno de los objetivos fundamentales de la biotecnología es combatir este problema; los de López-Munguía (2004, 92) , quien asegura que “no existen evidencias científicas de que los (daños a la salud y al ambiente) estén sucediendo ni que en el futuro vaya a ocurrir, por lo tanto, tales temores son infundados e irresponsables”; los de Padilla (2004,115) quien afirma que “ninguna tecnología es completamente segura y que existen diversos grados de certidumbre, que la labor predictiva en el caso de los transgénicos es difícil pero no imposible” y finalmente las de Bolívar-Zapata (2004;265) quien sostiene que el hecho de que una tecnología implique riesgos no por ello se debe ser rechazada, que “nada grave ha sucedido hasta ahora y no hay pruebas de que algo grave pueda suceder a causa de su introducción” y que en caso de que México rechace los transgénicos “se vería sumido en el atraso tecnológico”. A continuación describiremos con mayor detalle estos argumentos.

En esta sección presentaremos los argumentos a favor de los OGM agrupados en distintas categorías que nos permiten identificarlos. La primera de ellas tiene que ver con el argumento

de que la transgénesis es un proceso natural y los métodos y recursos también lo son, entre ellos se encuentran:

Herrera y Martínez (2004; 45) caracterizan el método en el que se emplea la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* como natural ya que ésta se encuentra en todos los suelos del mundo y es utilizada como vector para transportar el gen de interés.

En relación con la posibilidad de que la introducción de genes en los cromosomas de plantas pueden causar efectos nocivos inesperados en la salud de los seres humanos o en los ecosistemas. Estos efectos, conocidos como efectos *pleiotrópicos*, de acuerdo con estos autores, pueden presentarse debido a dos factores: el primero es que los genes introducidos de *alguna manera* afecten la expresión de los genes de las plantas ubicados en regiones cercanas a donde ocurrió su inserción (por ejemplo, que regiones reguladoras de la transcripción de los genes introducidos afecte la expresión de genes vecinos) y el segundo es que la proteína producida por algún gen introducido tenga funciones inesperadas que puedan alterar el desarrollo o composición química de la planta. (Herrera-Martínez; 2004: 46). Los autores afirman que si bien estas posibilidades pueden ocurrir, lo que hay que establecer es con qué frecuencia y si esto también ocurre de manera *natural*.

Para defender esta postura argumentan que en la naturaleza en la mayoría de las plantas existen elementos móviles llamados transposones que “brincan de manera natural de una posición del cromosoma a otra y aún a otros cromosomas” (Herrera-Martínez, 2004,49). Los transposones contienen elementos reguladores que afectan la expresión de genes vecinos, sin embargo, afirman que existen de manera natural bordes o barreras que evitan que los genes vecinos se afecten unos a otros. Aunque inmediatamente después afirman que aunque esto suceda, es *relativamente fácil* detectar los genes que se encuentran a los lados del lugar de inserción del gen recombinante. Y más adelante vuelven a recalcar que esta situación se presenta de manera natural y ocurre con frecuencia y no se ha demostrado que cause daño a la salud o al medio ambiente. (Herrera-Martínez, 2004,50)

El tipo de argumentos que ofrecen los autores es generalmente del tipo: “El ser humano lleva cerca de 10 000 años manipulando el genoma de plantas y animales, tanto para la producción de alimentos como por motivos de recreación”; “el intercambio de genes entre diferentes

especies ocurre de manera natural” (Herrera-Martínez, 2004,32)y para defender este tipo de manipulación aseguran que las plantas evolucionaron “mediante un proceso de endosimbiosis entre una bacteria fotosintética y una célula eucariótica, que significó la transferencia masiva de genes de origen bacteriano al genoma de la célula eucariótica”. (Herrera-Martínez, 2004,33)

En este mismo sentido López-Munguía (2004, 92) asegura que el rechazo a los transgénicos se debe a una “cruzada de desinformación”, uno de los temores que señala es el hecho de que estamos comiendo genes transgénicos. El autor afirma que para las grandes mayorías es una novedad que los genes formen parte de sus alimentos, sin embargo comemos genes de todos los alimentos que consumimos desde los principios de la humanidad y por ende, los genes de los alimentos transgénicos serían similares a los de los alimentos convencionales.

Herrera y Martínez (2004; 31) afirman también que hay una equivalencia sustancial entre las propiedades nutritivas y alergénicas de los alimentos tradicionales y los alimentos transgénicos.

Covarrubias (2014) afirma que “la capacidad natural de las plantas para generar una planta completa y funcional a partir de una célula (totipotencialidad) (...) ha permitido la producción de plantas modificadas por ingeniería genética” (Covarrubias; 2004: 54) asimismo asegura que la transferencia de genes entre especies diferentes es un fenómeno natural ya que se utiliza una bacteria que se encuentra en el suelo llamada *Agrobacterium tumefaciens*. Esta bacteria, continua esta autora, causa tumores en ciertas especies vegetales en las que se introduce por medio de alguna herida e interviene en el proceso de cicatrización, impidiendo la formación de un callo que cierre la herida a través de la proliferación de células que crecen sin control y forman un tumor. La ingeniería genética aprovecha este mecanismo con la idea de sustituir los genes de la bacteria que se integran en el genoma vegetal por genes de otra especie o de la misma especie vegetal. Para ello modificaron el ADN bacteriano capaz de insertarse en el genoma vegetal para que fuera el transporte del exogen y se removieron los genes bacterianos causantes de la formación del tumor, conservando ciertas regiones esenciales para llevar a cabo la inserción del exogen. Pero para asegurarse de que el gen de interés se ha expresado de la manera esperada se utiliza un marcador que constituye un gen

que confiere resistencia a un antibiótico, el más utilizado es el gen de resistencia a la kanamicina. (Covarrubias; 2004: 60)

1.3.2 Alusión a los beneficios ambientales de los OGM

Otro de los recursos presentes en el discurso de los defensores de los OGM es que éstos son la solución para los problemas ambientales que enfrenta el mundo hoy en día. Por ejemplo Herrera y Martínez (2004; 36) aseguran que “la agricultura es la actividad probablemente más nociva para la biodiversidad” ya que la variedad de especies es reemplazada por el cultivo de especies de interés alimenticio, así como el uso de pesticidas y agroquímicos que repercuten al ambiente. Por ello consideran que los transgénicos son una solución más amigable con el medio ambiente.

López-Munguía (2004; 93) afirma que cuando el petróleo se agote, la biotecnología será sin duda la opción más atractiva para la producción de energéticos y materias primas.

Padilla (2004; 117) también afirma que es necesario un ambientalismo “científico” que use la tecnología para enfrentar los problemas ecológicos. Además dentro de su línea argumentativa, podemos encontrar distintas promesas que van desde la creación de nuevos alimentos que beneficien directamente la salud del consumidor, hasta la creación de plantas que resistan condiciones ambientales adversas. Finaliza afirmando que es necesario “no desperdiciar esta extraordinaria herramienta de la que disponemos para resarcir el daño causado al planeta”.

Este autor afirma que la biotecnología agrícola es nuestra mejor herramienta ante problemas como “la finitud de las tierras arables y del agua disponible, los impactos continuos de enfermedades causadas por microorganismos y las limitaciones de los sistemas de abasto en nuestros países”. Asegura también que estos problemas no podrán ser resueltos sólo con cambios en la estructura social o en las políticas ambientales, se requiere de la tecnología. En ese sentido Sollerio (2014; 157) afirma: “Estamos convencidos de que esta relación negativa entre población creciente, escasa productividad, pobreza y degradación ambiental *solamente* puede romperse con la base de una agricultura más productiva”.

Asimismo, los promotores de cultivos OGM prometen que se creará una nueva generación de transgénicos capaces de resistir sequías, sin embargo investigadores como Covarrubias (2004, 54) reconocen la incapacidad de la construcción de plantas resistentes a condiciones ambientales adversas debido a la naturaleza multigénica de estas propiedades en las especies. Esto quiere decir que si se pretende modificar plantas para que resistan sequías u otras condiciones, es necesario manipular más de un gen, y como la característica principal de la ingeniería genética es el ultra reduccionismo que se concentra en un solo gen, no se han desarrollado técnicas para modificar varios genes a la vez. Y como lo señala Covarrubias, las plantas que responden favorablemente en ambientes controlados de laboratorio podrían no tener los mismos resultados en condiciones ambientales cambiantes. Lo mismo señala Lewontin (2000,30) al afirmar que en el caso de los organismos producidos por la biotecnología agrícola, es evidente que las condiciones de laboratorio y las del ambiente en que es insertada la planta son radicalmente distintas debido a que las variables son controladas al máximo durante la experimentación, y en el ambiente las interacciones emergentes y las transformaciones son contingentes. Un genotipo, explica el autor, no da lugar a un único tipo de desarrollo, sino a una norma de reacción, es decir, un esquema de diferentes tipos de desarrollo en ambientes diferentes. La mayoría de los genotipos tienen normas de reacción complejas que se entrelazan de maneras imprevisibles.

1.3.3 Alusión a la metáfora de progreso en ciencia y tecnología

La utilización de metáforas en el discurso científico de divulgación forma parte de las estrategias argumentativas que emplean los investigadores que promueven la adopción de OGM en la agricultura. Han sido analizadas por Folguera (2013), quien señala que el análisis de las metáforas es clave para comprender los procesos de construcción social del conocimiento científico y tecnológico ya que permiten identificar las relaciones entre el conocimiento, el lenguaje y la cultura del que forman parte. Las metáforas orientan las percepciones y concepciones acerca del mundo en el imaginario y por lo tanto también modelan las representaciones acerca de la ciencia y los científicos. (Folguera; 2013; 8-13)

De acuerdo con Liakopoulos (2002) las metáforas son empleadas de manera cotidiana debido a que nos permiten comprender nuevos temas a partir de los que ya conocemos a través de

semejanzas y asociaciones pero también las metáforas deforman el objeto al que se aplica. La metáfora del progreso, de acuerdo con este autor, produce una imagen de la biotecnología referida al avance, desarrollo, crecimiento y evolución de la sociedad en el futuro. (Liakopoulos; 2002: 10)

En torno a la metáfora del progreso, Herrera y Martínez (2014) interpretan a la información genética de una especie como *algo* a lo que se puede acceder, se puede manipular, se puede crear sintéticamente, y a la ingeniería genética como una tecnología que rompe barreras impuestas por la fisiología propia de cada especie.

López-Munguía (2004, 93) afirma que la posibilidad de desarrollar metodologías para manipular la información genética de una célula fue “el resultado del inexorable avance del conocimiento y de la necesidad inherente del ser humano de conocer el mundo, de conocerse a sí mismo y de aplicar este conocimiento en su propio beneficio” Otro de los argumentos de López-Munguía (2004, 95) para la promoción de las plantas transgénicas es la necesidad de “participar en el mundo global”.

1.3.4 Analogías en torno a otros procesos históricos y sociales

López-Munguía (2004,89) recurre a la analogía para justificar la introducción de plantas transgénicas en la alimentación. Afirma que cuando Pasteur descubrió la naturaleza microbiológica también hubo oposición a la pasteurización y un temor generalizado de que se encontraran microorganismos infecciosos en el aire, agua y medio ambiente.

Más aún, este autor menciona que ocurrió algo similar a mediados del siglo XX cuando Florey y Chain produjeron a nivel industrial la penicilina mediante microorganismos para que se pudiera abastecer de este antibiótico a las víctimas de la segunda guerra mundial. Afirma que existía el temor de que el uso masivo de antibióticos generase agentes infecciosos resistentes e invencibles, pero que dicho temor no se cumplió. Sin embargo, actualmente es un hecho que distintas clases de bacterias han presentado resistencia a antibióticos a niveles que comienzan a inquietar a algunos sectores de la comunidad científica.

Asimismo Covarrubias (2004; 51) apela al argumento de que la biotecnología se originó desde “los albores de la civilización humana, cuando para subsistir, los campesinos del

neolítico empezaron a modificar su ecosistema al seleccionar de sus cosechas cierto tipo de semillas para sembrar en el siguiente periodo” y más adelante agrega que “las civilizaciones sedentarias favorecieron la producción y el uso de plantas y animales modificados”. Asimismo señala que “el mejoramiento genético ha sido durante siglos el principal método para el mejoramiento agrícola”.

1.3.5 Las promesas de beneficios económicos y nutricionales futuros

Herrera y Martínez (2004, 49) afirman que hay un “alto valor agregado” que tienen los transgénicos para fines no alimenticios, como la industria química o farmacéutica. Otro de los beneficios que exponen Herrera y Martínez (2004, 50) es que algunos transgénicos están diseñados para alargar la vida de anaquel, así se resuelve el problema de la pérdida de ingresos debido a la maduración de frutas y verduras por el tiempo que transcurre entre la cosecha, la distribución, la venta y el consumo de estos alimentos. Podemos argumentar que esta solución está orientada por la construcción de un tipo de problema que puede ser planteado de diferente manera. Podríamos reducir la pérdida de ingresos y el desperdicio de alimentos si se fomentara el comercio local, de esa manera también se estaría beneficiando a un número mayor de pequeños agricultores en lugar de que las ganancias se concentren en un puñado de agroindustrias transnacionales.

Otro de los beneficios de la ingeniería genética que se destaca es la generación de plantas resistentes a enfermedades. La técnica más común es la infección viral a plantas para que desarrollen resistencia, y afirman que con esta técnica, la planta reconoce un exceso en la expresión de los genes virales introducidos y evita su expresión, una vez hecho este proceso, la planta podrá impedir la infección por el virus de la cepa utilizada y de cepas relacionadas (Covarrubias; 2004, 65). Sin embargo, este tipo de plantas no se han producido, por lo que queda en calidad de promesa.

Solleiro (2004; 152) afirma que: “las razones por las que cerca de seis millones de agricultores en el mundo hayan adoptado esta tecnología tan rápidamente son básicamente: la obtención de mayores rendimientos debidos al mejor control fitosanitario de plagas y malezas, la reducción de costos de producción y la disminución del uso de plaguicidas químicos”.

Otra de las razones que ofrece Solleiro (2004, 157) para la aceptación de los alimentos transgénicos es la promesa de obtener plantas con propiedades nutricionales superiores que “las hagan más atractivas para las agroindustrias”. Estas propiedades consistirían en un aumento del contenido de vitaminas y minerales específicos, de aminoácidos esenciales y aumentar su vida de anaquel. Entre estos alimentos menciona el maíz, soya y canola modificadas para disminuir su contenido de ácidos grasos saturados, papas modificadas para aumentar su contenido de almidón y tomates con mayor contenido de licopenos, al cual se le atribuye la responsabilidad en la disminución de la incidencia de cáncer de próstata y gastrointestinal. Cabe mencionar que ninguno de estos productos se cultiva en México y de acuerdo con los datos de la ISAAA tampoco se comercializan en nuestro país.

Herrera y Martínez (2004, 33) afirman que los transgénicos obedecen a una permanente necesidad de satisfactores que atiendan las demandas humanas de alimentación. Estas necesidades son la causa de la existencia de los transgénicos. Estos autores también afirman que las limitaciones de la RV no pueden “satisfacer la creciente demanda de alimento impuestas por el permanente crecimiento demográfico”.

Sin embargo López-Murguía (2004,92) señala que el problema de los alimentos si es un tema de producción y no de distribución como sostienen los críticos. Para afirmar tal cosa, pone como ejemplo las cantidades de alimento que se consumen en las sociedades de oriente frente a las de occidente y afirma que con la cantidad de alimentos que se producen en el mundo se podría alimentar a 1000 millones de habitantes pero “sólo si estos tuvieran un régimen alimentario como el de oriente o si se volvieran vegetarianos”.

1.3.6 Negación/reconocimiento del riesgo

Herrera y Martínez (2004, 46) argumentan además que “el surgimiento de las nuevas tecnologías *siempre* despierta inquietud” es decir, que la razón de la controversia en torno a los transgénicos se debe únicamente a que es una novedad, y por lo tanto es normal que existan opiniones contradictorias al respecto. Con este razonamiento se desestiman las distintas problematizaciones que se han hecho en torno a los OGM y se reducen al simple hecho de que se trata de algo nuevo.

Con respecto a la “inquietud”, como la denominan los autores, en torno a la utilización de genes de resistencia a antibióticos como marcadores de selección en el proceso de producción de plantas transgénicas, afirman que el temor de que dicha resistencia a antibióticos pudiese pasar a microorganismos que habitan en el tracto digestivo humano o que sean transferidas a bacterias patógenas, es infundada debido a que varios estudios demuestran que tal cosa no ocurre o sucede con una frecuencia *extremadamente* baja⁴ (Herrera y Martínez; 2004:47)

Asimismo Herrera y Martínez (2004, 48), afirman que otro de los temores infundados es la posibilidad de que el consumo de genes de plantas transgénicas pudieran incorporarse a las células del ser humano y causar cáncer. Afirman que no hay evidencia alguna de que ello suceda y que de ser así, esto habría tenido que ocurrir “desde que el hombre apareció en la tierra [ya que] las plantas normales contienen decenas de miles de genes”.

Otro de los asuntos mencionados por Herrera y Martínez (2004, 50) es el referente a la posibilidad de que los alimentos transgénicos generen alergias a los humanos, niegan esta posibilidad y argumentan que son los alimentos de origen vegetal los que originan de manera natural alergias y que éstas ya se conocen en su mayoría por lo que “la introducción de genes en plantas que codifican proteínas que ya se sabe que no causan reacciones alérgicas no debe causar preocupación”. Sin embargo, para aquellas proteínas de las que no se sabe si causan alergias en humanos o no, deben ser probadas antes de su lanzamiento al mercado.

Los autores también aseguran que la posibilidad de que una proteína que se sintetice a partir de un gen transgénico pueda tener una función adicional a la esperada es real. Afirman que existen evidencias de que las proteínas cumplen funciones que eran desconocidas y que por

⁴ En contraste con esta posición, Álvarez- Piñeyro (2008) aseguran que el hecho de que los marcadores de resistencia a antibióticos, sobre todo el virus del mosaico de la coliflor, que es el más utilizado de acuerdo con estos autores, sean de origen viral implica incertidumbre y potenciales riesgos debido a que el promotor ha sido modificado para expresarse de manera independiente del contexto genómico en el que se encuentre, y que se ha corroborado este hecho incluso en tejidos humanos. Asimismo asevera que se ha documentado que estos genes pueden activar y dirigir la expresión de genes distintos de los genes de interés. El promotor 35S del virus del mosaico de la coliflor, afirman las autoras, puede ser un factor intrínsecamente desestabilizador porque contiene secuencias de recombinación que son capaces de cortar y pegar ADN de manera aleatoria. Aunque las autoras reportan que ya se han utilizado otros promotores que se expresan de manera más específica, el promotor 35S sigue siendo el más utilizado. En el mismo sentido, Acosta (2002) afirma que el gen de resistencia a la ampicilina ya no se utiliza en la producción de plantas transgénicas debido a que podía mutar y conferir resistencia a otros antibióticos de tercera generación, lo más grave de acuerdo a este autor, sería que se transfiriera a bacterias del tracto respiratorio humano, aunque afirma que esto tiene bajas probabilidades de ocurrir.

ello es necesario realizar un análisis minucioso de las plantas transgénicas que se pretendan introducir en nuestro país. (Herrera y Martínez; 2004; 48)

Otro de los argumentos que utilizan los autores se refiere a la contaminación genética o el flujo génico no intencional. Aseguran que “Es difícil imaginar que un solo gen pudiera tener un efecto catastrófico en la supervivencia de una especie vegetal o que la alterara de tal manera que la convirtiera en una supermaleza o una especie capaz de extinguir otros organismos, ya que las interacciones en los sistemas biológicos son muy complejas y dinámicas y la competitividad de una planta depende de muchos genes”. Al mismo tiempo afirman que es más peligroso introducir especies exóticas en ecosistemas distintos de su hábitat natural (Herrera y Martínez; 2004; 49).

Por otra parte López-Munguía (2004, 94) afirma que los alimentos transgénicos son sometidos a controles de calidad y seguridad inclusive más sofisticados que los que se emplean para los cultivos tradicionales, lo que los hace más seguros puesto que son evaluados como ningún otro producto alimenticio, aunque esto no los exime de posibles riesgos. Como ejemplo cita el caso de las vacas locas, que se originó debido a que se alimentó con cerebros de borregos a las vacas, lo que les causó deficiencias mentales. Afirma que esto ocurrió en un ámbito fuera de la biotecnología y que si bien fue un error, es perfectamente comprensible ya que ese alimento se utilizó debido a que la política de utilización de todos los recursos es sinónimo de sustentabilidad, es decir las intenciones eran buenas aunque el resultado fue un desastre.

Padilla (2004; 117) sugiere que la aceptación social de un producto tecnológico es un “resultado instantáneo” de algunos factores culturales tales como la actitud ante los cambios o las costumbres, además de la información divulgada que es capaz de modificar la percepción que tienen los sujetos al respecto de dichos productos. En este argumento podemos inferir que se considera al consumidor como un mero receptor de la tecnología.

1.4 Argumentos en contra de los transgénicos en el discurso científico de divulgación

1.4.1 El poder de las transnacionales

Una arista más al complejo problema de los alimentos transgénicos en México es el del papel de las empresas privadas en el financiamiento de investigaciones, la generación de patentes,

la comercialización y el cabildeo con gobiernos para la introducción de estos productos en nuestro país. Las cinco empresas que dominan la totalidad del mercado de semillas son Monsanto, Syngenta, DuPont, Bayer y Dow. Son estas empresas también las que dominan el mercado farmacéutico, esto se debe, de acuerdo con Silvia Ribeiro, a que se utilizan mecanismos similares en la industria farmacéutica y en la ingeniería genética como la bioprospección o biopiratería en la cual es plagiado el conocimiento de las comunidades indígenas para el desarrollo de transgénicos y de medicamentos que después son patentados y comercializados de manera monopólica. (Ribeiro; 2004, 67). Si bien es cierto que este modelo no es privativo de la biotecnología sino que es una característica del sistema capitalista en general y de sus modelos productivos, no por ello debemos desestimar la relación que existe entre las empresas multinacionales y la investigación científica.

La mayoría de los cultivos transgénicos se concentran en Estados Unidos, Canadá y Argentina. El 77% de los cultivos presenta como única característica la resistencia a un herbicida patentado por la misma compañía que vende las semillas, el 15% fue manipulado para convertirse en plantas insecticidas con la inserción del gen de la toxina de la bacteria *Bacillus Thuriensis* (Bt). (Ribeiro; 2004, 69)

En México y de acuerdo con la ISAAA, sólo tres cultivos de plantas transgénicas están permitidos en nuestro país: la alfalfa, el algodón y la soya. De estos tres cultivos, el 100% tiene como única característica la resistencia al herbicida Roundup Ready⁵ o son plantas insecticidas que utilizan el gen de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*. Debido a ello estamos ante un verdadero monopolio del mercado de semillas transgénicas, donde se ha impuesto el modelo de agricultura industrial que ha establecido relaciones de fuerte dependencia de los agricultores con las compañías semilleras y de agroquímicos. (Ribeiro; 2004, 71)

De acuerdo con la ISAAA, actualmente tres compañías absorben el 100% del comercio de semillas transgénicas en México: Dow AgroSciences LLC, (Estados Unidos) Monsanto (Estados Unidos) (fusionada ahora con Bayer) (Alemania) y Syngenta (Suiza).

⁵<http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/advsearch/default.asp?CropID=Any&TraitTypeID=1&DeveloperID=Any&CountryID=MX&ApprovalTypeID=3>

Ribeiro (2004, 72) también señala que son las mismas empresas que han creado agroquímicos para su uso masivo en la agricultura industrial las que prometen que con sus semillas transgénicas ya no se requerirá su uso aunque la mayoría de ellas crea semillas resistentes a sus propios herbicidas.

Riberiro (2004) afirma también que los cultivos genéticamente modificados, en específico aquellos diseñados para ser resistentes al herbicida RoundUp Ready no han aportado beneficios económicos significativos para los agricultores e incluso éstos han reportado pérdidas. Cita un estudio del *National Center for Food and Agricultural Policy* (NCFAP) en el que se reportan las ganancias de los agricultores por utilizar las semillas transgénicas, sin embargo, señala que el economista estadounidense Charles Benbrook señala que las ganancias reportadas por el estudio se basan más bien en la estimación del ahorro que los agricultores supuestamente tienen al no usar más pesticidas convencionales y no en los ingresos netos por la venta de sus productos. Este cálculo es falaz en tanto que no necesariamente los agricultores compran más pesticidas o gastan las cantidades que el estudio estima, sino que usan otras alternativas no necesariamente químicas. (Ribeiro; 2004, 75)

Asimismo esta investigadora asegura que las semillas transgénicas son más caras y no tienen mayores rendimientos que las semillas convencionales, en específico las semillas Bt que controlan la plaga del barrenador europeo del maíz, que en México no existe. Asimismo estas semillas generan paulatinamente que los insectos se vuelvan más resistentes, por lo que las propias empresas recomiendan que se siembre una parte de la parcela con maíz no transgénico para crear zonas de refugio, aunque en el caso del maíz, es prácticamente imposible debido al incontenible flujo génico. (Ribeiro; 2004, 76)

Haciendo un análisis de las características de las plantas modificadas genéticamente, es posible afirmar que la mayoría de ellas no reporta ningún tipo de beneficio a los consumidores puesto que se basan en ser resistentes a agroquímicos que produce la misma empresa, lo que hace que sea un negocio redondo. El primer transgénico, por ejemplo, un tomate de maduración retardada, sólo beneficia a las grandes empresas que lo comercializan, ya que evita su descomposición. Hasta ahora los transgénicos no han reportado beneficios nutricionales o resistencia a condiciones climáticas adversas, tampoco son más baratos, ni más ricos ni más saludables. Por ello las grandes empresas han emprendido otra estrategia

para lograr la aceptación de esta tecnología, que consiste en la creación de alimentos “biofortificados” (con vitaminas y minerales incorporados) (Ribeiro; 2004, 79)

Tal es el caso del maíz dorado desarrollado por AstraZeneca, que fue genéticamente modificado para contener vitamina A. Sin embargo la autora afirma que el hecho de que en Asia los niños tengan serias deficiencias nutricionales se debe en gran medida a que los pobladores no tienen acceso a la tierra y a los recursos naturales, que han sido orillados a vivir en la marginalidad debido al sistema económico que impera en el mundo, asimismo afirma que existen alternativas naturales para suplir tales deficiencias, por ejemplo, los quelites que rodean los cultivos de arroz en Asia tienen mayores cantidades de hierro y vitaminas que el propio arroz dorado, el que además tendrían que consumir en grandes cantidades para que se genere el efecto deseado. Sin embargo, los quelites son considerados como malezas por la agricultura industrial y son eliminados con herbicidas agrotóxicos o con los que producen las plantas transgénicas. (Ribeiro; 2004, 80)

Ribeiro describe un caso que evidencia los factores de riesgo de los llamados transgénicos de tercera generación que se caracterizan por producir plantas con valor agregado no aptas para consumo humano como plásticos, biocombustibles, vacunas o anticonceptivos. En 2002 la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) en Estados Unidos, ordenó destruir 17 600 metros cúbicos de soya porque se podría haber mezclado con granos de maíz modificado genéticamente para producir una vacuna veterinaria. La soya es un producto utilizado en innumerables productos de consumo humano como alimentos para bebés, conservas, helados, sopas, panes, mermeladas, etc. Esto sucedió en Nebraska, cuando un agricultor plantó el maíz transgénico por encargo de la empresa Prodigene quien instruyó al agricultor para que sembrara una cortina de plantas estériles para evitar que el polen del maíz no pudiera diseminarse. Pero cuando había plantado una cosecha posterior de soya notó que algunas plantas de maíz rebrotaron, sin embargo, al no percatarse, cosechó todo junto y lo envió a un silo donde se mezcló con la producción de otros agricultores. Un caso similar fue reportado en Iowa. En una entrevista, el director de Prodigene declaró a manera de justificación “nada en este mundo está libre de riesgos”. (Ribeiro; 2004, 81)

Otro de los aspectos polémicos que menciona Ribeiro (2004, 82) tiene que ver con el tema de las patentes. Las patentes, afirma la autora, han restringido a la investigación

independiente en torno a los transgénicos ya que las semillas están patentadas y es difícil acceder a ellas.

Además las patentes de semillas violan los derechos del agricultor a conservar parte de su cosecha para utilizarla como semilla en un nuevo ciclo de siembra. Tal es el caso de la semilla *terminator* que es estéril y no funciona para una segunda cosecha por lo que los agricultores tienen que comprar la semilla nuevamente para el siguiente ciclo. Esta semilla ha generado mucha polémica y gracias a la presión de las organizaciones sociales se ha podido prohibir su utilización, sin embargo, las empresas afirman que las semillas *terminator* podrían solucionar el problema de la contaminación genética que ellos mismos han creado. (Ribeiro; 2004, 87)

1.4.2 Contaminación genética

Álvarez-Buylla (2004, 181) señala los efectos de la liberación al ambiente de variedades transgénicas de maíz. El más preocupante es el que concierne al movimiento no intencional de los transgenes a poblaciones de variedades cultivadas y silvestres para las cuales las transformaciones genéticas no fueron diseñadas.

Por medio de investigaciones experimentales, Álvarez-Buylla (2004, 185) demuestra que hay una posibilidad de introgresión, es decir que los genes entren y persistan de las variedades transgénicas hacia las razas de maíces locales, criollos y hacia parientes silvestres del maíz que se encuentran en nuestro país que es centro de origen de este grano que es más que un alimento, es parte esencial de nuestra cultura y nuestra identidad.

Álvarez-Buylla (2004, 186) señala que el flujo génico de maíz a teosinte (especies y subespecies del grupo del maíz) ocurre cuando las plantas crecen en proximidad, afirma que los alelos (cada una de las dos o más versiones de un gen) de los cultivos introgresan a las poblaciones de los parientes silvestres después de varias generaciones. Aunque también señala que se ha demostrado que hay introgresión de caracteres genéticos de variedades mejoradas a nativas cuando ambas crecen incluso a cientos de kilómetros. (Álvarez-Buylla; 2004; 188)

Otro de los efectos de la introgresión a variedades silvestres y nativas de México de los transgenes provenientes del maíz transgénico cultivado en Estados Unidos, de acuerdo con la autora, es la generación de malezas por resistencia a herbicidas y plagas. En primer lugar considera la posibilidad de la aparición y multiplicación de teocintes maleza, ya que desde la perspectiva biotecnológica, los teocintles se consideran maleza. (Álvarez-Buylla; 2004; 189)

Otra consecuencia de la introgresión de transgenes que señala Álvarez-Buylla es el de la erosión genética, es decir, la disminución de la variabilidad genética que caracteriza a la existencia de distintas razas y subrazas del maíz en México más las variedades de teocintles. Así como también la evolución de insectos resistentes y generación de nuevas plagas. Álvarez-Buylla (2004) afirma que el flujo no intencional de los transgenes que expresan la toxina Bt, que confiere resistencia a plagas de lepidópteros a poblaciones no sujetas a regulación, se pueden originar plagas de insectos que serán difíciles de controlar. (Álvarez-Buylla; 2004; 191)

En cuanto a la posibilidad de la evolución de insectos resistentes y generación de nuevas plagas, la autora señala que “generalmente ocurre una carrera coevolutiva entre las poblaciones de plantas y las poblaciones asociadas de insectos en las que se seleccionan los individuos que superan los mecanismos de resistencia de las plantas. Esto promueve la evolución de nuevos mecanismos de resistencia en las plantas y a su vez nuevas variantes de insectos resistentes” (Álvarez-Buylla; 2004: 195). Menciona el caso de las plantas modificadas con la toxina de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, esta toxina forma cristales que se solubilizan en el intestino medio de determinados insectos provocando la ruptura de las células epiteliales y por lo tanto la muerte del insecto.

Sin embargo esto hace que aumente la probabilidad de que se seleccionen plagas con resistencia a estas proteínas tóxicas. Si bien la bacteria *Bacillus thuringiensis* se ha usado en la agricultura orgánica desde hace varias décadas y no se ha registrado ninguna resistencia usada de esa forma, para el caso de los transgénicos la aparición de plagas es más factible porque los transgénicos que expresan Bt pueden ser utilizados de manera indiscriminada y la exposición de la plaga a la toxina puede llegar a ser mucho mayor y más directa que la experimentada en las prácticas orgánicas, lo que eliminaría la posibilidad de poder volver a utilizar de manera natural dicha bacteria como insecticida biológico. En este sentido

Covantes (2004; 249) afirma que “se mantiene una carrera armamentista contra los insectos, en lugar de convivir dentro de cierto umbral con ellos”.

Otros efectos no esperados que se podrían presentar (y que ahora ya existe literatura científica que lo confirma) es la posibilidad de impactar especies que no son blanco o no son plagas, el caso que cita es el posible impacto de la toxina Bt en las larvas de las mariposas monarca en México. (Álvarez-Buylla; 2004; 197)

Una de las consecuencias del flujo génico es la transferencia de la resistencia a antibióticos. Es preocupante, de acuerdo con Álvarez-Buylla (2004, 198), que las secuencias insertadas por la tecnología de ADN recombinante se transfieran a bacteria, virus u otros organismos. Si bien esto ha ocurrido en la historia evolutiva natural de la vida en la tierra, las nuevas combinaciones creadas por la ingeniería genética pueden implicar riesgos novedosos para la ecología cualitativa y cuantitativamente, como la generación de nuevos microorganismos patógenos resistentes a antibióticos.

Álvarez-Buylla (2004, 204) considera que el hecho de que una fracción del polen viaje distancias considerables hace que el aislamiento total sea una práctica casi imposible, sobre todo porque el maíz es un grano de polinización abierta por lo que es muy probable que la contaminación génica ocurra, lo que puede afectar la estructura genética de las poblaciones de maíz y teocintes. Una vez que ha ocurrido el flujo génico, los transgenes pueden no ser detectados por los agricultores a menos que presenten caracteres fenotípicos claros e identificables.

Otro de los riesgos es la inestabilidad genómica de los transgénos, Álvarez-Buylla (2004, 213) señala que hay grandes incógnitas en torno a la estructura y dinámica del genoma. Afirma que no se puede predecir el sitio de inserción de los transgenes en plantas y animales, por ello, la selección de las mejores líneas transgénicas se lleva cabo mediante pruebas de ensayo y error. Señala además que los promotores usados en casi todos los desarrollos biotecnológicos en plantas se construyen en sitios de mucha recombinación, de esta manera se alteran las probabilidades de recombinación de los sitios de inserción de los transgenes, lo que hace difícil predecir cuál va a ser la segregación genética de los transgenes y por tanto su dinámica evolutiva. (Álvarez-Buylla; 2004: 212)

El último argumento de Álvarez-Buylla (2004, 218), es que existe una tendencia a producir OGM no destinados para alimentación sino para producir fármacos o químicos de uso industrial. Hay incertidumbres respecto a qué tipo de consecuencias para el ambiente implican este tipo de cultivos. También existe la probabilidad de que el polen de estos cultivos se mezcle con los cultivos que sí son para consumo humano.

1.5 Aspectos históricos de la construcción de la biología molecular

La historia de la ingeniería genética comienza con la biología molecular. De acuerdo con Barahona (2004,10), el término “biología molecular” apareció por primera vez en 1938 en un reporte científico del físico y después biólogo Warren Weaver, del Instituto Rockefeller de Nueva York. En la opinión de Weaver, la biología no progresaría a menos que siguiera los métodos provenientes de la física y de la química y que comprendiera los procesos celulares a nivel molecular. Este proceso es conocido como la “molecularización de la biología”. (Barahona; 2004,12)

De esta manera, el tipo de problemas y de soluciones que se plantean los biólogos, se transformó radicalmente, sobre todo por la migración de intelectuales del continente europeo hacia Estados Unidos e Inglaterra así como la conversión de muchos físicos a la biología debido a los resultados del uso de la bomba atómica en la segunda guerra mundial. Niels Bohr declaró en este mismo sentido, que los problemas que quedaban por resolver en física eran pocos comparados con aquellos que involucran a la materia viva. (Barahona; 2004,13)

La mecánica cuántica fue determinante para definir los objetivos, metodologías y principios axiológicos, es decir, juicios de valor de la naciente biología molecular. El más destacado de los físicos que pasó a la biología fue Max Delbrück, quien en diversos artículos señaló algunas propiedades de lo vivo. Para Delbrück, la estabilidad de los genes a lo largo de millones de años sólo podía ser entendida en términos atómico/cuánticos. Para este físico, había una relación de correspondencia o equivalencia entre los procesos atómicos y los genéticos, identificando así a la materia inerte propia de la física con los organismos vivientes. (Baharona; 2004,15)

Aprovechando el método de las llamadas enzimas de restricción, Paul Berg estaba tratando de encontrar un método para producir ADN del virus SV40, responsable de la mutación celular que causa cáncer. Para ello se propuso introducir el ADN en una bacteria, en la E.

Coli para determinar el comportamiento de los virus cuando invadían células. El experimento de Berg consistió en cortar el ADN del virus SV40 e insertarlo en las células de un animal mediante un portador: una bacteria común, la *Escherichia Coli*, para observar si algunos genes eran carcinógenos. La polémica se desató debido a que *E. coli* es un organismo que todos llevamos en nuestros intestinos por millones debido a su rápida replicación y los riesgos que eso implica son evidentes. Aun así, esta bacteria es la que más se utiliza en ingeniería genética. Quien continuó el trabajo de Berg fue Janet Menz, quien en una conferencia expuso sus planes de experimentación, lo que alarmó a la mayor parte sus colegas, entre ellos, Robert Pollack, experto en cáncer y colaborador de Watson, quien advirtió que un error y tendríamos un virus mortal replicándose al ritmo del *E. Coli* propagándose por toda la población humana. Después de ello, Berg canceló el experimento y publicó una carta en la revista *Science*, en donde advertía sobre los peligros de la técnica del ADN recombinante y propuso una moratoria voluntaria a la experimentación con estas técnicas. (Youngson, 2003, 186)

La manipulación y recombinación genética se lleva a cabo gracias a la presuposición de universalidad del código genético. Esta universalidad es un requisito indispensable para la utilización de enzimas de restricción que cortan una determinada secuencia de ADN de cualquier origen y se afirma que estos recortes forman sitios idénticos y complementarios que permiten la modificación de los organismos sin riesgo importante alguno.

1.5.1 Fisicalización de la biología

El proceso de “fisicalización de la biología” dio origen a la biología molecular en una época en la cual la física establecía los criterios de científicidad y de cuantificación rigurosa característicos de la ciencia moderna. Este proceso delimitó desde el comienzo, un conjunto de problemas, metodologías y perspectivas de la biología molecular. (Barahona; 2004,18)

Debido a que se consideraba que la biología se encontraba muy por debajo de los criterios de científicidad empírica y cuantificación rigurosa imperantes en la física y en la química, los biólogos acudieron a la búsqueda de modelos experimentales físicos y químicos con los cuales desarrollar sus investigaciones. De esta manera, el modelo atómico-cuántico, se integró por primera vez en la investigación biológica. (Barahona; 2004,17)

Fue la mecánica cuántica el modelo para el diseño y análisis de experimentos. Los estudios de Delbrück sobre la relación fago-bacteria representaban un modelo sencillo para estudiar los problemas de la reproducción y la herencia. Los genetistas clásicos, por su parte, tuvieron como modelo principal a la mosca de la fruta, en cambio el fago y la bacteria parecían contener menos variables imprevistas debido a la sencillez de los organismos y a su rápida reproducción. Debido a esto se podían obtener resultados rápidos y específicos. Incluso se creía que los fagos eran solamente sustancias químicas con actividad biológica, pero fue con la utilización del microscopio electrónico que se pudo observar su estructura, parecida a la de un espermatozoide. (Barahona; 2004, 21)

El modelo importado de la física tenía como propósito evitar deliberadamente el estudio de características fenotípicas “complejas”, por ello sólo eran estudiadas características de tipo metabólico o bioquímico, ya que las mutaciones eran fácilmente reconocibles, además de que los organismos como los hongos, las bacterias o los fagos tienen una población genéticamente homogénea, ya que se reproducen asexualmente y tienen un ciclo de vida corto. Por ello *E. coli* es el modelo más utilizado. (Barahona; 2004, 22)

La influencia de los físicos dentro de la genética supuso una ruptura con los viejos paradigmas de la genética clásica, se propusieron nuevos modelos y métodos experimentales que habrían de trazar una nueva ruta de investigación, de formulación de preguntas y determinación de objetos de estudio. (Barahona; 2004, 27)

Asimismo, algunos de los métodos utilizados por la ingeniería genética fueron importados de la física por ejemplo el que consiste en el bombardeo con micro partículas recubiertas de ADN. Este método se utiliza desde 1987 y se requiere de un acelerador de partículas y fue el que permitió la transformación del maíz y del arroz. Otro método es la aplicación de pulsos eléctricos de alto voltaje que debido a la gran cantidad de energía abren poros en la membrana, lo que permite la entrada de material genético a la célula. (Herrera, Martínez; 2004; 48)

1.6 La biotecnología como problema de conocimiento

El problema de los transgénicos en México tiene distintas dimensiones, entre las que destacan las económicas, sociales, políticas, culturales, etc. En este trabajo se pone énfasis en la

dimensión epistémica, por lo que es indispensable observar al fenómeno complejo en torno a los transgénicos como un problema de conocimiento, es decir, que involucra formas de construir explicaciones acerca del mundo que tienen como base supuestos epistemológicos y compromisos ontológicos.

1.6.1 La visión reduccionista en la ciencia

El modelo de ciencia que posibilita el desarrollo de la biotecnología es reduccionista ya que es necesario simplificar al máximo las variables que intervienen en el desarrollo de un ser vivo para que sea posible modificarlo genéticamente. Por ello hemos decidido incluir esta sección en la que se analiza el paradigma que subyace a la investigación científica reduccionista en general pero que es pertinente en el caso específico que analizamos puesto que es el modelo de referencia para la biotecnología.

Es en los argumentos de los defensores de esta tecnología, en donde podemos encontrar su visión general con respecto a la ciencia, que hunde sus raíces en el siglo XVI con Bacon como su máximo representante. Esta visión considera que los seres humanos tenemos un inmenso potencial para dominar a la naturaleza y encontrar explicaciones verdaderas usando la ciencia. Esta visión constituye el marco epistémico a partir del cual se construye el conocimiento que hace posible la existencia de los OGM.

Ante esta situación, Muñoz-Rubio (2004, 99) señala algunas de las deficiencias conceptuales y metodológicas características de la ciencia contemporánea que son aún más evidentes en el caso de los alimentos transgénicos. La primera de estas deficiencias se sustenta en la visión reduccionista a partir de la cual se ha desarrollado la ciencia, lo que trae como consecuencia que las explicaciones que se construyen sobre el mundo sean simplificadas, lo que a su vez nos lleva a no poder superar ciertas limitaciones a la comprensión y concepción que nos forjamos del mismo.

En el caso de la biología, continua Muñoz-Rubio (2004, 102), el reduccionismo corresponde a la visión cartesiana del mundo. Este autor señala las características del modelo reduccionista de René Descartes: cualquier sistema está compuesto en su totalidad por un conjunto natural de unidades o partes, las cuales son homogéneas dentro de sí mismas y básicamente iguales entre sí. Estas partes son ontológicamente previas al todo, existen

aisladas y concurren una a una para formar los todos, por lo cual el todo es igual a la suma de sus partes. (Muñoz-Rubio; 2014: 100)

Al mismo tiempo Muñoz señala que en la quinta de sus *Reglas para la dirección del espíritu*, Descartes afirma que el método consiste en “reducir gradualmente las proposiciones complicadas y oscuras a otras más simples”. Esto ilustra, siguiendo a Muñoz, el proceder metodológico para plantear y solucionar problemas y aún más, representa la manera como Descartes piensa que se deben comprender los objetos de estudio. Descartes, citado por Muñoz, afirma que es necesario observar cuál es la verdad más simple y cómo todas las demás se acercan o se alejan de ésta. A su vez es necesario reducir a la mayor simplicidad los conceptos y “dividirlos en las partes más pequeñas que se pueda” (Muñoz-Rubio; 2014: 101)

La idea básica, continúa Muñoz-Rubio (2004, 101) que está detrás de los alimentos transgénicos es que si queremos obtener una característica determinada, por ejemplo, la obtención de una vitamina, lo que hay que hacer es buscar una especie que produzca tal vitamina, aislar el gen que se cree es responsable de dicha propiedad e insertarlo en otro organismo y como se considera que el gen se comporta de una manera constante y estable, se espera que el nuevo organismo genéticamente modificado, produzca la sustancia esperada.

Otro dato significativo que aporta Muñoz con respecto a la visión cartesiana del mundo es la que Descartes expresa en *Los principios de la filosofía* en el que afirma que “sólo existe una materia en todo el universo (...) todas las propiedades que apercibimos distintamente en ella se reducen a que es divisible (...) puede ser susceptible de todas las diversas disposiciones que observamos” (Muñoz; 2014: 102). Este punto en particular, coincide asombrosamente con la concepción que se tiene de gen, como universal y como constitutivo de todo lo vivo.

Por otro lado, Muñoz-Rubio (2004, 103) señala que desde finales del siglo XIX “hubo una fuerte tendencia a dividir el cuerpo de los organismos en tantas partes como fuera necesaria hasta encontrar las partes esenciales que provocaban el fenómeno de la vida”. Este paradigma condujo al desarrollo de la genética, a la determinación de la estructura tridimensional de los ácidos nucleicos y el desarrollo de la biología molecular. Es a partir de aquí que los genes y los nucleótidos han sido considerados como las partes esenciales del mundo vivo. Y en

consecuencia, los organismos son concebidos como el resultado de la suma de esas partes esenciales. La consecuencia de aplicar una metodología reduccionista, a decir de Muñoz, es la incapacidad que tendríamos de comprender la enorme complejidad del mundo vivo. (Ibíd.)

Retomando al filósofo Richard Lewontin, Muñoz -Rubio (2004, 104) señala que el modelo cartesiano es una forma de expresar la concepción individualista del mundo, que no solamente sirve de marco epistémico para las ciencias sino también aplica a las relaciones sociales. Esta filosofía se construye, se inventa, con el surgimiento de una nueva concepción del mundo planteada por la burguesía, basada en el nuevo papel que tiene el sujeto de transformar su situación en el mundo, postura que contradice a la sostenida durante la Edad Media que consideraba al sujeto como subordinado a la voluntad de Dios.

De la misma manera que Muñoz-Rubio (2004, 106) señala las similitudes en torno a la concepción del mundo o marco epistémico que impera tanto en las propuestas teórico-metodológicas de la biología como en las relaciones sociales que se reproducen en nuestra sociedad actual, también Muñoz menciona que así como un sujeto aislado de la sociedad no es capaz de desarrollar sus capacidades o funcionalidades que potencialmente puede desplegar a lo largo de su vida, ya sean intelectuales, motrices, lingüísticas, e incluso sensoriales⁶, los genes, los nucleótidos o las moléculas de ácidos nucleicos contenidas en un organismo, por sí solos, no tienen ninguna función si se encuentran aislados de los demás genes, del entorno intracelular, del organismo en su totalidad y del organismo con su medio ambiente.

Cuando las partes son consideradas como esenciales, insiste Muñoz -Rubio (2004, 107), generalmente no se explica por qué, por lo cual parecen serlo debido a una “misteriosa cualidad” interna que las hace ser lo que son, como si ya de manera natural y por sí mismas tuvieran las propiedades que las caracterizan. Recalca además que los genes son capaces de hacer lo que hacen sólo en la medida en que establecen relaciones con otros componentes del sistema, y yo agregaría además que bajo este principio es de esperarse que la introducción de un nuevo gen altera todas las interacciones y con ello las funcionalidades del resto.

⁶ Ver: Sacks Oliver, *Un antropólogo en Marte*, Editorial Anagrama, Barcelona, 2005.

En ese mismo sentido, Muñoz-Rubio (2004, 109) aboga por una concepción dialéctica de la vida en la cual el conjunto de interacciones de las partes con el todo, de éste con las partes y de las partes entre sí es lo que explica las características morfofisiológicas de un organismo.

Los alimentos transgénicos niegan la complejidad inherente a los organismos y nos ofrecen una visión simplista de ellos, afirma Muñoz-Rubio (2004, 110). La ingeniería genética descompone a los organismos vivos en sus partes “más sencillas” que considera como “esenciales” y de esta manera, elabora un modelo fisicalista de los seres vivos.

El argumento que utilizan continuamente los defensores de los transgénicos dice: “no hay pruebas de que haya efectos negativos en la salud o el ambiente a raíz de la siembra y consumo de transgénicos”. Muñoz -Rubio (2004, 111) analiza este argumento desde un punto de vista lógico y señala que el hecho de que aún no se haya detectado algún daño en la salud o e ambiente producto de un alimento transgénico, no nos asegura de que en el futuro no se vaya a presentar. Por lo que este argumento carece de sustento lógico. Y podemos agregar que sí hay pruebas de los efectos negativos en el ambiente, que han sido relatados de manera somera a lo largo de este trabajo, sólo que muchos de ellos simplemente no son aceptados o legitimados por los responsables de tomar decisiones al respecto.

Es imposible y no es recomendable eludir la complejidad que existe entre el material genético de dos distintas especies y entre las también complejas interacciones de los organismos con su medio ambiente. Y es precisamente en esta complejidad donde reside la posibilidad de que la predictibilidad falle, debido a las numerosas posibilidades de que se presentan en el transcurso de la vida de un organismo y en la historia de las interacciones que ocurran interna y externamente.(Muñoz-Rubio, 2004, 112)

La biotecnología afirma Muñoz-Rubio (2004, 113), trata a los organismos como entes en los que un efecto particular de la manipulación genética se deriva de una causa también particular y única, esto quiere decir que solo se consideran relaciones uno a uno de causas y efectos, lo que ilustra la visión simplificadora del mundo característica de la ciencia moderna.

La visión del mundo que caracteriza a la ciencia moderna que ha posibilitado el desarrollo de las técnicas de manipulación genética, es materialista, racional, parcial, fragmentaria e inmediatista, carente de integración y complejidad. Esta visión separa al sujeto del objeto y

considera que el sujeto no interviene en la construcción del conocimiento y que es necesario que no intervenga con sus “prejuicios, pues son elementos distorsionadores de la realidad”, en palabras de Descartes, citado por -Rubio (2004, 113). Esta concepción supone que los sujetos cognoscentes deben ser “neutrales” para poder comprender las propiedades esenciales de los objetos, lo que les confiere de una cierta autoridad para opinar y decidir acerca de los usos y aplicaciones de las propiedades que han sido “descubiertas”. Lo que conlleva a prácticas excluyentes que Muñoz denomina como “dictadura del experto” en donde la sociedad no tiene legitimidad para refutar los dichos de la ciencia.

Es necesario, afirma Muñoz-Rubio (2004, 114), que la ciencia tome una actitud más modesta en cuanto a sus capacidades predictivas en general y en torno a las consecuencias de la siembra y consumo de los alimentos transgénicos ya que no es posible afirmar que el conocimiento en esta área esté acabado y que ya no haya nada por conocer. Además es necesario construir una nueva epistemología que haga frente al reduccionismo que sea capaz de integrar distintos saberes y horizontes de interpretación.

1.6.2 Participación social en la toma de decisiones que involucran a la tecnociencia.

Olivé (2014, 131) caracteriza a los OGM como *artefactos*, es decir objetos que se usan al aplicar técnicas y que suelen ser el resultado de la transformación de otros objetos concretos. Todos los artefactos son creados por sujetos con determinadas intenciones que el autor denomina como *agentes intencionales* (que en el caso concreto que abordamos son los ingenieros genéticos) que actúan sobre un trasfondo de creencias, de conocimientos y de valores. El agente intencional le atribuye un valor al artefacto.

Los agentes intencionales, continua Olivé (2014, 132), tienen una forma de representarse conceptualmente la realidad sobre la cual desean intervenir. Los seres humanos tienen la capacidad de abstraer ciertos aspectos de la realidad y la significan, es decir, establecen lo que pueden hacer con ella, de manera que construyen modelos y teorías para describir y explicar dichos aspectos e intervenir sobre ellos, modificándolos o manipulándolos.

El conocimiento que se construye enfocado en el diseño de una tecnología es el resultado de una toma de decisiones que se realiza en función de sus representaciones, intereses, valoraciones, deseos y preferencias, afirma Olivé (2014, 133). Este marco general

frecuentemente choca con otros sistemas de valores e intereses, por lo que en el caso de los transgénicos, es posible afirmar que la controversia que existe entre ellos tiene que ver más con estos elementos que con aspectos estrictamente científicos o racionales.

La ingeniería genética está englobada en lo que Olivé (2014, 138) denomina “sistemas tecnocientíficos” que define como “sistemas tecnológicos que constan de un complejo de saberes, de prácticas, de sistemas de acciones y de instituciones, en los que la ciencia y la tecnología son interdependientes.” Al igual que la ciencia, los sistemas tecnocientíficos tienen el propósito de describir, explicar o predecir lo que sucede en el mundo, pero su propósito central es intervenir y transformar ese mundo.

Otra de las características de la tecnociencia, señala Olivé (2014, 142), es que producen en su entorno social y ambiental efectos a corto, mediano y largo plazo que son imposibles de predecir en el momento de su aplicación, por lo que generalmente, los artefactos de la biotecnología moderna implican riesgos e incertidumbres.

Los riesgos, señala este autor, siempre serán el resultado de una determinada decisión u omisión y son imputables a los que resulten responsables, esto quiere decir que siempre hay un sujeto cognoscente que lleva a cabo determinadas acciones deliberadas y es necesario que se responsabilice de ellas, el conocimiento no es más concebido como un descubrimiento de la naturaleza de las cosas, sino es el resultado de una construcción intencional. (Olivé; 2004; 145)

De igual manera afirma que la biotecnología cambia la vida de las personas, las afecta directamente, es por ello que la decisión de aceptar o no estos cambios también corresponde a la gente y no a los expertos o al Estado⁷. (Olivé; 2004; 148).

Es importante señalar que esta postura ya había sido propuesta por Feyerabend (1998) quien afirma que en una sociedad democrática es necesario que la opinión del experto sea evaluada y supervisada por los “ciudadanos de a pie”, ya que “todo conocimiento contiene elementos

⁷ Aunque el caso de los transgénicos no es el único y existen otros tantos ejemplos en los que se puede aplicar este mismo razonamiento, como en el caso de las vacunas (tema que debe analizarse caso por caso y con sus particularidades, análisis que no está contemplado en esta investigación) no por ello deben aceptarse los productos de la ciencia acriticamente.

válidos junto a ideas que impiden el conocimiento de nuevas cosas. Estas ideas no son meros errores, sino que resultan necesarias para la investigación: no se puede progresar en una dirección sin bloquear el progreso en otra. La ciencia necesita tanto al experto como al diletante”. Sería irresponsable aceptar el dictamen de los científicos sin ningún otro análisis. La última palabra no corresponde a los expertos sino a la población que es directamente afectada con la aplicación de dichos conocimientos. Esto es así porque en una democracia los ciudadanos tienen derecho a elegir lo que crean que es verdad o la forma correcta de actuar y la forma de lograr que se puedan tomar estas decisiones es conociendo el mayor número de alternativas posibles. (Feyerabend; 1998: 99,103, 111)

En ese mismo sentido Feyerabend describe cómo los expertos llegan frecuentemente a resultados distintos, tienen opiniones contradictorias dentro de diversos campos, por ejemplo en medicina, en física nuclear, economía o ecología existen posturas encontradas. El disenso es común dentro de la comunidad científica. La unanimidad por el contrario, muchas veces es el resultado de una decisión política: los disidentes son eliminados o guardan silencio para preservar la reputación de la ciencia como fuente de un conocimiento fidedigno y casi infalible. En otras ocasiones la unanimidad es el resultado de prejuicios compartidos. La unanimidad puede también reflejar una disminución de la conciencia crítica: la crítica será débil mientras se tome en consideración un solo punto de vista. Por esta razón la unanimidad fundada exclusivamente en consideraciones internas a menudo resulta equivocada. (Feyerabend; 1998: 102)

De esta forma Feyerabend resalta la capacidad que tienen los sujetos no especialistas para comprender y emitir una opinión acerca de un tipo de conocimiento en específico:

Que la gente corriente puede descubrir los errores de los especialistas siempre que estén dispuestos a “trabajar duro” es el supuesto básico de todo juicio con jurado. La ley exige que el testimonio de los expertos sea comprobado y sometido al dictamen de un jurado. Al imponer este requisito se reconoce que los expertos son humanos después de todo, que cometen errores aun dentro de su propia especialidad, que tratan de disimular cualquier fuente de incertidumbre que pudiera menoscabar la credibilidad de sus ideas y que su pericia no es tan inaccesible como suelen dar a entender. Y se reconoce también que un profano puede adquirir el conocimiento necesario para comprender sus procedimientos y detectar sus equivocaciones, suposición que resulta confirmada una y otra vez. La ciencia no está fuera del alcance de las luces naturales de la raza humana. Lo que propongo es que se apliquen estas luces a cuantas importantes cuestiones sociales están ahora en manos de los expertos. (Feyerabend; 1998: 113)

Asimismo Marcelo (2014, 222) afirma que es necesaria una participación amplia y ciudadana en los temas de Ciencia y Tecnología y enriquecer la imagen común que tenemos sobre el “experto”, para que pueda ampliarse hacia otros actores sociales e incluir otros tipos de conocimiento además del científico en temas que involucren problemáticas sociales, ambientales, etc. De esta manera, la sociedad puede hacerse preguntas como: ¿Qué se espera de la ciencia y la tecnología en contextos determinados?, ¿cuáles son los problemas sociales en los que debe enfocarse?, ¿cómo participan los actores en la definición de tales problemas y en sus soluciones?, ¿cómo se relaciona el conocimiento científico con otros tipos de conocimientos?, ¿cómo se construye la legitimidad social de la ciencia y la tecnología en este contexto?

Asimismo Barreda (2014, 79) sostiene que es necesario que exista en la sociedad en general, un mínimo de conocimiento de los códigos de la ciencia, la economía, la sociología o el medio ambiente que les permita tomar postura y tomar decisiones colectivas.

1.6.3 Relaciones conocimiento-naturaleza-sociedad

Es indispensable conocer el modo en que se concibe la relación de la sociedad con la naturaleza y el de la ciencia con la sociedad, ya que de esta manera podemos explicitar o identificar las formas de comprender a los otros, (entendidos como sujetos y comunidades con marcos ontológicos y epistemológicos diferenciados) y de esta manera, trazar una ruta de la dinámica y procesos históricos que construyen dicha concepción, que en el caso de las comunidades científicas, estas relaciones son la base del conocimiento científico, ya que a partir del marco epistémico es que construyen las preguntas y las problemáticas de las que se ocupan sus disciplinas así como sus conceptos y teorías.

El problema de los transgénicos puede ser visto como un problema de riesgo ecológico⁸ que cuestiona al conocimiento que ha construido la ciencia moderna sobre el mundo. El estado

⁸ Entendido como la probabilidad de que ocurra un efecto adverso para la integridad de ecosistemas naturales y los servicios que estos proveen como resultado de la exposición a estresantes relacionados con la actividad humana. Fuente: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/riesgoecol.htm> Los transgénicos implican un riesgo ecológico ya que el principal señalamiento en contra de esta tecnología es la pérdida de biodiversidad como resultado de la siembra de variedades mejoradas que se impongan sobre las variedades nativas debido a la capacidad adaptativa superior de las primeras. Esta mejora supone una gran ventaja sin embargo también implica un riesgo en situaciones de variabilidad climática ya que frente a sequías o cambios climáticos es la variedad de especies y subespecies lo que permite la supervivencia y adaptación de una población mientras que la homogeneidad genética la vulnera.

actual del medio ambiente representa un aspecto de la crisis del pensamiento occidental que ha producido una racionalidad científica e instrumental que concibe a la naturaleza de manera cosificada, objetivada y fragmentada, este paradigma científico se ha erigido como el dominante y con ello ha impuesto un control sobre los recursos y sobre los sujetos. El problema ambiental es un problema de conocimiento que nos conduce a redefinir a la naturaleza como un sistema complejo y a reconstruir el pensamiento históricamente, para ubicar el proceso a partir del cual se arraigaron en las subjetividades sociales, las certidumbres sobre el mundo que se construyeron a partir de falsos fundamentos. (Leff; 2014: 307)

La ciencia reduccionista y el conocimiento especializado excluye el significado de sus resultados en un ámbito más amplio de conocimiento que incluye no sólo otros dominios sino otras formas de conocer. (Villa Soto; 2014: 14) Esta sentencia describe muy bien lo que sucede con el conocimiento que permite la modificación genética de seres vivos, se ignora el significado cultural que tienen ciertos alimentos que son objeto de la ingeniería genética así como las prácticas culturales, religiosas, simbólicas ligadas a la siembra.

La biotecnología agrícola moderna, señala Jardón (2014; 339), es producto de la visión reduccionista en biología en donde la relación gen-organismos y gen-ambiente se proyecta en el ámbito social ya que la búsqueda de esencias y relaciones unidireccionales, en el ámbito de la sociedad, se plasma en la forma de organización social que enaltece al individuo por encima de la comunidad y también se concibe a la sociedad como la suma de los individuos, postura que no se comparte desde esta perspectiva.

Afirma también que la idea de que la manipulación genética de las plantas solucionará los problemas de alimentación mundial es un supuesto falso y que lejos de ser una solución, es la causa del problema ya que “en el afán de incrementar la producción de alimentos centrándose en la ganancia, el capitalismo ha hecho los cultivos menos diversos y más homogéneos” en un escenario en donde hay catástrofes ambientales inminentes y en donde se requerirá la suficiente variación de cultivos que permitan una mejor adaptación a los cambios. (Jardón, 2014, 345)

Es fundamental que los científicos promuevan una idea de ciencia socialmente construida, que sean capaces de reconocer y explicitar sus intereses, ideas políticas y valores. Deben reconocer, aceptar y difundir que la ciencia no es neutral y no busca una “verdad última” ni tampoco es simplemente gusto del conocimiento por el conocimiento. Asimismo es preciso no olvidar que el conocimiento muchas veces está ligado a fines dirigidos por agentes internacionales que a su vez están insertos en un contexto social, cultural e histórico específico. (Jardón, 2014, 346)

Tampoco es conveniente que simplemente se transfieran los conocimientos acabados (en forma de productos, artefactos, objetos o herramientas) de las instituciones a la sociedad sino que es necesario construir mecanismos de interacción entre ciencia y sociedad desde el momento mismo de la generación de nuevos conocimientos e innovaciones tecnológicas. (Jardón, 2014, 347)

Marcello (2014, 214) afirma que la percepción que tiene un individuo respecto a los problemas ambientales o de los impactos de la tecnociencia depende del conocimiento y la comprensión de los propios procesos de construcción de la ciencia –de carácter epistemológico- que posea el sujeto. Sin este elemento, es probable que se continúe reproduciendo la idea de que la ciencia es un conocimiento independiente de los sujetos que la producen, que es el resultado de la observación objetiva –sin "contaminación" subjetiva- y directa de la realidad, que progresa ad infinitum, que no tiene límites, etc.

1.6.4 Imperativos económicos en la construcción del conocimiento tecno-científico

Barreda (2014, 79) afirma que la tecnología pone al descubierto la relación del hombre con la naturaleza, y ha hecho una crítica de como las ciencias naturales casi siempre hacen caso omiso de su propia historicidad, poniendo en su lugar, representaciones ideológicas que intentan explicar por qué las *cosas* son así y no de otra manera. Los científicos ignoran la dinámica histórica que ha permitido el nacimiento y desarrollo de sus propias disciplinas. En el caso de la biotecnología agrícola basada en la ingeniería genética, pero también de muchas otras, el imperativo máximo que determina el desarrollo de la tecnociencia es el plusvalor. La mayoría de los científicos en este campo, ignoran la base práctico-ideológica que impulsa, somete y deforma a los objetos que produce y además controla las maneras subjetivas de

usarlos, pero aún más, determina las lógicas epistemológicas de la percepción, los lenguajes especializados, el sentido común. Esto se debe a que el capital produce significados y sentidos que impactan en la cultura, pero también existen otros mecanismos mucho más evidentes como el control de los medios de comunicación y la educación.

Barreda (2014, 81) hace un llamado a la construcción de una Historia crítica de la tecnología que explique el origen estructural de las catástrofes ambientales y de la salud humana que se han incrementado progresivamente desde la segunda mitad del siglo XX. Y el autor señala que esta reconstrucción histórica se deberá poner énfasis en la liberación irresponsable al medio ambiente de millones de sustancias químicas, con una compleja interacción espontánea con el ambiente de la que no es posible predecir sus resultados. Ejemplos de estas sustancias son los nuevos materiales industriales como plantas, microorganismos, virus y animales manipulados genéticamente.

En el caso de los alimentos transgénicos, es posible constatar, tal como lo caracteriza Barreda (2014, 93), que representan una evolución de los dispositivos técnicos cuyo eje principal es la modificación o deformación material de los seres vivos que interviene, no con el objetivo de aumentar la productividad agropecuaria ni mucho menos para resolver alguna necesidad social, sino con el propósito de dominar un tipo de mercado, desplazando a los pequeños y medianos competidores.

Es una falacia creer que el desarrollo de las ciencias positivas fue algo natural, lógicamente obligatorio e inevitable y que no hubiera o no puede ocurrir de otra manera. Cada hallazgo científico e invento tecnológico tiene como base un conjunto de conocimientos construidos socialmente así como una serie de prácticas epistemológicas históricamente aceptadas, legitimadas y practicadas, un conjunto de herramientas científico-técnicas, un tipo de políticas y financiamientos públicos y privados. Pero sobre todo en un marco epistémico o matriz cultural que la engloba.

1.6.5 Compromisos ontológicos y premisas epistemológicas que permitieron la construcción de la ciencia moderna.

La escisión entre el ser y el ente (Platón) y la separación del sujeto y objeto (Descartes) sentaron los pilares del pensamiento occidental y de la ciencia moderna que para aprehender

el mundo lo cosifica, objetiva y homogeneiza, pretende dominarlo y también lo mercantiliza a partir de un proceso de producción incontrolable e insustentable. El proyecto científico de la modernidad se fundó a partir de la disociación entre objeto y sujeto, y es debido a esta separación que puede existir una ciencia económica que afirma la existencia de “leyes ciegas” del mercado o de una razón instrumental que se impone sobre los procesos de los ecosistemas. (Leff; 2014: 308)

Es común que se intente despojar a la ciencia de toda ideología, sin embargo “La ideología ya no es lo falso y la ciencia lo verdadero. Ambas son solidarias de una concepción del mundo que ha construido una realidad” (Leff: 2014, 309)

Leff (2014, 311) afirma que la idea monoteísta, la invención de un Dios único, omnipresente, inmutable y trascendente fue transferida al campo del conocimiento como un logos rector del mundo. Esta idea permitió erigir y legitimar un proyecto de unificación a través de la idea de verdad absoluta, de la racionalidad pura, y de una razón económica y tecnológica que delinea y domina el entorno. Afirma también que el monoteísmo fue transferido al mercado y a la ciencia, ya que hay una obsesión por la unidad y por el pensamiento unidimensional, unicausal y estos principios invisibles se han convertido en la estrategia general de conocimiento, dominio y control, con una ciencia convencida de sus certidumbres y predicciones.

No basta con que la ciencia refine sus métodos para encontrar soluciones a los problemas que ella misma ha provocado, como en el caso concreto de la contaminación que trajo la llamada Revolución Verde. Ahora los transgénicos se presentan como la solución al problema del abuso de agrotóxicos en la agricultura, sin embargo, no hay probabilidades de que los resultados sean distintos si lo que subyace es un proyecto epistemológico que no está siendo cuestionado. (Leff; 2014, 315)

Es fundamental también analizar el paradigma racionalista para entender cómo se construye el conocimiento científico asociado a la creación de OGM en México, en ese sentido Cocho et. al., (2014, 26) afirman que el racionalismo como doctrina filosófica y como actitud ante la vida, se erigió sobre tres principios generales:

- 1) El materialista: hay un mundo real, independiente de la percepción de los seres humanos; un mundo con cualidades esenciales, un mundo que puede *reducirse* en última instancia, *a materia*.
- 2) El mecanicista: todo lo que sucede ocurre merced a fuerzas que operan sobre los cuerpos y producen movimiento. El espacio y el tiempo son absolutos.
- 3) El determinista: dado el supuesto anterior, como la maquinaria no puede desobedecer las leyes que la rigen, todo en el universo está determinado, independientemente de si puede o no calcularse.

1.6.6 El paradigma reduccionista

Por su parte Jardón (2014, 337) afirma que el reduccionismo que ha prevalecido en las ciencias no es un accidente o el resultado de una incapacidad para construir teorías más completas, sino que surge simultáneamente al modo de producción en el cual se desarrolla.

El reduccionismo en las ciencias opera en tres planos distintos: por un lado hay una necesidad metodológica de aislar algunos fenómenos del mundo para poder manipularlos y estudiarlos y considerar que las descripciones que de allí resultan corresponden completamente con la realidad. En el segundo plano, está el reduccionismo teórico que busca describir el mundo en la menor cantidad de leyes y variables y por último se encuentra el reduccionismo a un nivel filosófico que supone que existe un orden de prioridad en el que las partes más pequeñas bastan para explicar las propiedades del universo. (Ibíd)

El reduccionismo en las ciencias es un problema metodológico, epistemológico e ideológico. Este último aspecto es el resultado de un tipo de ideología dominante que se expresa también en el tipo de relaciones sociales que no se limitan a las comunidades científicas sino al resto de la sociedad. (Jardón, 2014, 342)

El reduccionismo puede ser entendido como el componente ideológico dentro del discurso científico en la biología, que refleja una visión del mundo dominada por la competencia o por la noción de que existen genes que “gobiernan” los procesos celulares, moléculas que se autorepican, también la visión reduccionista como ideología, se hace evidente en la manera en se establece la relación gen-organismo; organismo-ambiente; gen-ambiente, agricultura-sociedad y ciencia-sociedad. (Jardón; 2014, 344)

La idea de que un gen es el causante único y exclusivo de una característica es la expresión de una visión reduccionista que supone que los rasgos de un individuo o una especie están determinados por genes particulares, de ahí que se hable del “gen de la diabetes” el del cáncer, la obesidad, o el de la homosexualidad, etc. Este axioma afirma que un organismo es un conjunto de genes donde cada uno tiene una finalidad específica. Esta visión supone que los seres vivos son exclusivamente lo que producen sus genes. Las tres premisas de este paradigma en biología son: 1) un gen produce una característica determinada en un ser vivo, 2) ese gen sirve para esa función en particular, 3) los seres vivos son el resultado exclusivo de la acción independiente de los genes que contienen. Estas premisas son reduccionistas y funcionalistas que ignoran el papel del ambiente en el desarrollo del organismo, las propiedades emergentes que resultan de sus interacciones, de la autoorganización y de la epigenética. (Jardón; 2014, 354)

1.6.7 La complejidad ambiental como alternativa epistémica

Ante este panorama, existen alternativas epistémicas, una de ellas es el paradigma de la complejidad. Cocho et. al. (2014, 35) califican a las ciencias de la complejidad como “quizá el mejor intento intelectual de la humanidad para comprender nuestro entorno.”

Para aprehender la complejidad ambiental es necesario incorporar el pensamiento sistémico y la perspectiva de la complejidad, es necesario una reformulación ontológica y epistemológica de las categorías de conocimiento, incorporar la historia, otras racionalidades y una voluntad de saber y de poder. La problemática ambiental no es sólo una crisis ecológica, ni tampoco parte de los “ciclos naturales” de la tierra, es el resultado de la ontología y la epistemología con la que la civilización occidental ha intentado comprender al entorno. La crisis ecológica actual, por primera vez no es parte de los procesos naturales y dinámicos del planeta, es el resultado de una concepción metafísica, filosófica, ética, científica y tecnológica del mundo. (Leff; 2014: 310)

Por ello, es importante cuestionar dichas concepciones y explorar otras alternativas como el enfoque de la complejidad ambiental:

“Para el pensamiento crítico, la complejidad ambiental no se limita a la comprensión de una evolución ‘natural’ de la materia y del hombre hacia este encuentro en el mundo tecnificado. Esta historia es producto de la intervención del pensamiento del mundo. Sólo así es posible dar el salto fuera del

ecologismo naturalista y situarse en el ambientalismo como política del conocimiento, en el capo del poder en el saber ambiental, de una política de la diferencia y un proyecto de reconstrucción social desde el reconocimiento de la otredad.” (Leff; 2014: 309)

La complejidad ambiental es una nueva comprensión del mundo, que es consciente de los límites del conocimiento y del crecimiento y la producción, de la incertidumbre, de la entropía y del azar y que los reconoce como parte de la dinámica del entorno.

Una de las alternativas es concebir a los organismos vivos como sistemas autoorganizados y por lo tanto como sistemas abiertos, es decir, aquellos que intercambian materia, energía e información con su entorno. En otras palabras la autoorganización es la capacidad de los sistemas para dar lugar a estructuras y patrones de manera espontánea, es decir, en ausencia de control externo, a estos patrones se les llama *emergencias*. (Cocho et. al. 2014, 37)

1.7 Componente epistémico-social para el análisis de la biotecnología

“...los científicos actuales se sienten aún hoy como “descubridores” que sacan a la luz misterios de la naturaleza y amplían lenta pero seguramente el dominio del saber humano (...) lo mismo que antes, domina hoy la concepción de que el saber sólo es saber si permite conocer al mundo tal como éste es.”

Ernst Von Glasersfeld

Una unidad de análisis es un esquema categórico que nos permite interpretar observables y contestar las preguntas que le formulamos al problema. Primero vamos a indagar en algunas de las propuestas en torno a la importancia social de la epistemología desde la selección de autores y perspectivas que hemos señalado.

El análisis epistemológico del discurso científico de divulgación de los OGM es relevante para la sociedad ya que contribuye a la reflexión sobre

- cómo se adquieren determinados conocimientos y
- cómo de esta manera se construyen un conjunto de prácticas científicas y tecnológicas que impactan en las esferas sociales, culturales, económicas, políticas, legales, médicas y ambientales.

García (1984, 37) afirma que es necesario precisar el conjunto de posiciones epistémicas que caracteriza a los conceptos generales que son utilizados en una disciplina determinada así

como la metodología o utilización de procedimientos con los que se analizan los datos experimentales recogidos, la forma de construir dichos datos y la forma de comprender (qué) y de explicar (cómo) los fenómenos concernientes a la disciplina en cuestión.

Este autor también afirma que no son las consideraciones metodológicas ni los instrumentos de medición empleados los que permiten el desarrollo de la ciencia, son las pautas de carácter epistémico las que condicionan las modalidades de las grandes etapas de cada ciencia en particular. No se debe buscar por lo tanto cual es el método adecuado para analizar un objeto de estudio sino que debemos buscar cuáles son los fundamentos epistémicos en la aplicación de determinada metodología y que procesos condujeron los presupuestos epistemológicos que le sirven de base a una disciplina que le conducen a aceptar como científicamente satisfactorias sus propuestas teóricas y conclusiones que enuncia. (García; 1984, 39) Para la descripción de los presupuestos epistemológicos que subyacen a una teoría específica es necesario analizar el tipo de preguntas que se hace la teoría, el tipo de premisas no demostradas que se aceptan de forma implícita o explícita, y la relación que hay entre experiencia y teoría. (Piaget, García; 1984: 62)

Las preguntas indispensables que hay que realizar cuando hacemos un análisis epistemológico desde la perspectiva constructivista son:

- ¿Cuáles son los hechos que se toman como punto de partida para definir o describir los fenómenos que se tratan de explicar?
- ¿Cuáles son las características de los modelos científicos que han sido históricamente aceptados como “adecuados” y cómo se llegan a construir dichos modelos?

Para responder a la primera pregunta es necesario analizar las teorías como un nivel determinado de abstracción con relación al conjunto de fenómenos que llamamos realidad y que son el objeto de estudio de una disciplina específica. En cada nivel se toman como punto de partida ciertas propiedades de los objetos a los cuales se aplica la teoría. Estas propiedades constituyen los observables para la teoría en cuestión. (Piaget, García; 1984: 189)

Un análisis epistemológico de la ingeniería genética aplicada a la agricultura, nos obliga a cuestionarnos sobre el problema de la realidad, ¿qué es la realidad y qué conocemos de ella? ¿Qué es lo que la ingeniería genética nos informa acerca de la realidad? ¿Cuáles son los

presupuestos ontológicos de los que parten los biotecnólogos? ¿Cómo acomodan a ellos sus concepciones epistemológicas?

En resumen, en este capítulo hicimos una síntesis histórica del proceso de introducción, producción y consumo de OGM en México. Incluimos aspectos de carácter internacional como la creación del primer transgénico en Estados Unidos porque este organismo fue sembrado en México previo a su comercialización. Asimismo hacemos un recuento de la discusión en torno a la bioseguridad en nuestro país y los aspectos controversiales de la misma.

También hicimos un recuento de los argumentos a favor y en contra de los transgénicos en México. El principal argumento a favor es que la transgénesis es un proceso natural que ocurre cotidianamente en otras especies por lo que no representa ningún riesgo a la salud humana o la biodiversidad. Por otra parte, el argumento en contra más importante es que una especie genéticamente modificada puede transferir genes recombinantes a su contraparte silvestre lo que provocaría la homogeneización genética de la población y la haría más vulnerable ante cambios en las condiciones climáticas.

Asimismo incluimos aspectos históricos del nacimiento de la biología molecular, en este apartado destacamos que esta disciplina surge como consecuencia de la aplicación de principios teóricos y metodológicos de la física a la biología. Este proceso se conoce como *fisicalización de la biología* y es resultado del viraje de importantes físicos nucleares al campo de la biología después de los nefastos resultados del lanzamiento de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial.

El punto medular de este capítulo se encuentra en el análisis de la biotecnología como un problema de conocimiento, en este punto abordamos los problemas epistemológicos que surgen de la visión reduccionista en la ciencia, la importancia de la participación social en la toma de decisiones y el tipo de relaciones que se tejen entre el conocimiento, la naturaleza y la sociedad, así como los intereses económicos que subyacen en la tecno-ciencia en general y en la biotecnología en particular.

Por último hacemos referencia a las consideraciones metodológicas que sugiere García (1984) para el análisis epistemológico del discurso científico asociado a los OGM.

Resaltamos que las preguntas indispensables para dicho análisis son: ¿Cuáles son los hechos que se toman como punto de partida para definir o describir los fenómenos que se tratan de explicar? Y ¿Cuáles son las características de los modelos que han sido históricamente aceptados como “adecuados” y cómo se llegan a construir dichos modelos? La respuesta a la primera pregunta fue desarrollada en el apartado de argumentos a favor y en contra de los OGM, mientras que la segunda se encuentra en el apartado de la biotecnología como problema de conocimiento.

A continuación desarrollamos el marco teórico a partir del cual interpretamos el discurso de divulgación científica en torno a los OGM. El autor central es Rolando García, sin embargo es importante mencionar que sus aportaciones teóricas están fuertemente influidas por las contribuciones de Jean Piaget. Asimismo incluimos a autores como Humberto Maturana, Francisco Varela y Ludwig Von Bertalanffy porque comparten una perspectiva sistémica en la investigación. Esta postura concuerda con la propuesta de los Sistemas Complejos de García, tema que se desarrolla en el capítulo III.

CAPÍTULO II

El complejo cognoscitivo: marco teórico para el análisis epistémico de la biotecnología en México

El principal objetivo de este trabajo es hacer una reflexión epistemológica del paradigma científico que posibilita la creación de Organismos Genéticamente Modificados. La disciplina que se encarga de la construcción de dichos productos es la biotecnología, disciplina tecno-científica que nace de la biología molecular.

Para llevar a cabo esta tarea es necesario explicitar desde dónde haremos esta reflexión y cuáles serán los ejes que conducirán nuestras premisas. El eje principal de nuestro análisis es la Epistemología genética, teoría desarrollada por Jean Piaget y Rolando García, dicha teoría propone que el conocimiento científico es construido de acuerdo a una serie de mecanismos bio-psico-sociales.

Rolando García (1919-2012) fue un epistemólogo, filósofo de la ciencia e investigador argentino exiliado en México durante la dictadura. Sus principales aportaciones se encuentran en el campo de la epistemología genética que desarrolló junto a Jean Piaget en Ginebra, Suiza. También es uno de los principales artífices de la Teoría de los Sistemas Complejos.

A lo largo de este capítulo analizaremos los principales conceptos e implicaciones de la epistemología genética en el estudio de los procesos de construcción de conocimiento científico, mientras que la Teoría de los Sistemas complejos será descrita en el capítulo III de esta investigación.

En la primera parte de este apartado hacemos una reseña de las principales aportaciones de la epistemología genética a la teoría de la ciencia, destacando las características que la distinguen de otras aproximaciones al conocimiento. En la segunda parte describimos los mecanismos cognoscitivos y operaciones epistemológicas básicas que Piaget y García proponen en su obra. En la tercera parte analizamos elementos referentes a la importancia del contexto sociocultural en la creación de conocimiento y las distintas perspectivas que se han abordado desde la filosofía de la ciencia. En el siguiente apartado describimos la noción que construye Rolando García sobre la explicación científica.

Más adelante incluimos la perspectiva de los biólogos chilenos Francisco Varela y Humberto Maturana quienes abordan el problema de la construcción del conocimiento con base en dos esferas: la biológica y la social. Al igual que García y Piaget, estos autores pueden ser ubicados dentro de la corriente constructivista en epistemología ya que la postura que sostienen que la forma en la que conocemos al mundo depende de nuestra historia de transformaciones biológicas y sociales que no se limitan a hacer descripciones sino que “traen un mundo a la mano”.

Recordemos que para Piaget y García el análisis de la construcción del conocimiento consta de tres esferas interrelacionadas: la biológica, la psicológica y la social. La razón por la que incluimos a Maturana y Varela en esta investigación es porque ellos analizan el problema del conocimiento desde el punto de vista biológico pero sin reducirlo a éste sino articulándolo en una esfera de complejas relaciones.

Por último, la referencia obligada para cerrar nuestro marco teórico es Ludwig Von Bertalanffy quien formuló la teoría general de los sistemas. La perspectiva sistémica es fundamental para la perspectiva constructivista de García y Piaget debido al papel predominante que se le otorga a las relaciones por encima de las propiedades consideradas de manera aislada.

2.1 El constructivismo genético de Rolando García

Pablo González Casanova (1997) reconoce el gran aporte de Piaget por haber logrado establecer un equilibrio entre la reflexión teórica y la investigación empírica; y por haberle dado una importancia esencial a la creación de novedades (que denomina *históricas*) en su propuesta teórico- metodológica sobre la construcción del conocimiento, rompiendo con la noción de que existen estructuras preformadas y planteando que el tipo de estructuras que se analizan no obedece a una tendencia. Guiado por las reflexiones de Piaget y García, González Casanova hace un llamado a la superación de la división disciplinar en las universidades y en la investigación científica, pero sin descuidar la especialidad. Ha señalado también que el conocimiento científico se desarrolla como un proceso, es decir, que se reformulan o

reconstruyen las teorías anteriores, pero es necesario partir de éstas para construir novedades que rebasen y transformen el conocimiento anterior.

Rolando García (1997) ha dicho que Piaget “*concibió la propuesta más revolucionaria, en el presente siglo, acerca de la teoría del conocimiento*” y la compara con la revolución galileo-newtoniana pero en Epistemología. La revolución científica a la que alude García, ocurre en el siglo XVII, su antecedente inmediato fue la concepción aristotélica del mundo: un mundo compuesto por sustancias esenciales en donde el conocimiento se obtenía indagando sobre la naturaleza de los objetos, misma que determinaba sus propiedades y características y su relación con otros objetos en la conformación de fenómenos o eventos de la realidad. La novedad que se introduce con esta revolución es precisamente en esta cosmovisión, ahora el mundo no está compuesto de esencias sino de relaciones. Este giro fue posible gracias al cambio de preguntas que fueron planteadas en el ámbito de la física, dejó de preguntarse por la esencia del movimiento y se indagó en cambio sobre cómo se relacionan los cuerpos entre sí a través del movimiento y como éste se transforma. Se dejó de preguntar el *qué* para dar paso al *cómo*. Desde esta nueva perspectiva los objetos son definidos por sus relaciones y no por sus propiedades *esenciales*. Para García, Piaget hace algo similar en el terreno de la epistemología, ya que deja de preguntarse qué es el conocimiento y se pregunta en cambio cómo los sujetos incrementan o transforman su conocimiento. De esta manera, considera al conocimiento como un proceso -y no como un estado- que se va construyendo lenta, progresiva y trabajosamente gracias a la interacción dialéctica entre sujeto y objeto.

El propio Piaget definió a la Epistemología Genética como el “estudio de los mecanismos de desarrollo de los conocimientos”. El adjetivo *Genética* es en el sentido que le atribuye el Diccionario histórico de la lengua francesa (citado por García; 2000, 1) que señala que es “relativo a la génesis de alguna cosa”. (Ibíd.), es decir, la trayectoria histórica a partir de la cual se ha configurado un tipo de conocimiento.

Piaget definió de manera general el término *ciencia* como “una institución social, un conjunto de conductas psicológicas y un sistema sui géneris de signos y comportamientos cognitivos” y afirma que “un análisis racional del desarrollo de la ciencia deberá tratar conjuntamente los tres aspectos.” (García; 2000: 15) El pensamiento científico, sostienen los autores, no es una categoría nueva, radicalmente distinta y heterogénea con respecto al pensamiento

precientífico. Las normas científicas son una prolongación de las normas de pensamiento y de prácticas anteriores pero incorporan dos exigencias que no tiene el pensamiento no científico: la coherencia interna respecto a un sistema total (teorías y conceptos) y la verificación experimental. (Piaget, García; 1984, 30) Es de suma importancia hacer notar que no en todas las ciencias es posible hacer experimentos, en las ciencias sociales por ejemplo, no es posible controlar variables, sujetos y situaciones como en otras ciencias como la física o la biología.

La teoría constructivista, afirma el autor, tiene como referente no al individuo aislado sino a la sociedad en la cual está inserto. Por ello, los denominados comportamientos cognoscitivos y las actividades que la sociedad coordina y califica como conocimiento en todos los niveles (familiar, escolar, académico) son materia de interés para la epistemología. (García; 2000: 20)

Al renunciar a las alternativas aprioristas o empiristas, Piaget propone que es la acción la que permite la formación de estructuras cognoscitivas. Parte de considerar al ser humano como un organismo, es decir como un sistema abierto que intercambia materia/información con el medio y que necesita de éstas interacciones para sobrevivir. Tampoco se puede ubicar al autor dentro de la corriente estructuralista puesto que el tan criticado estructuralismo piagetiano es distinto de otras formas de estructuralismo ya que considera a una estructura como una organización dinámica que no permanece inmutable sino que se transforma continuamente.

2.2 Mecanismos cognoscitivos y operaciones epistemológicas básicas

La propuesta de la epistemología genética se centra en el análisis de los mecanismos cognitivos (que no sólo son fisiológicos o psicológicos sino también históricos y sociales) que permiten la construcción del conocimiento.

Para hablar de actores y sus interacciones desde un punto de vista epistemológico, Piaget y García (200, 92) utilizan el concepto de *sujeto de conocimiento*. De acuerdo con los autores, es un individuo que asimila los elementos que le provee el mundo exterior. Un proceso de asimilación es aquel en el que un sujeto selecciona, transforma, adapta e incorpora los elementos que le provee el mundo exterior a sus propias estructuras cognoscitivas. Para ello,

también debe construir, adaptar, reconstruir y transformar dichas estructuras. Por lo tanto, hay una interacción dialéctica entre los objetos que se incorporan al conocimiento de un sujeto y los instrumentos cognoscitivos que permiten tal incorporación.

La asimilación se opone a la asociación ya que esta última resulta de una simple relación de similitudes o de continuidad entre los objetos conocidos o por conocer. El concepto de asociación no considera el papel que tienen los sujetos en el conocimiento y considera que el conocimiento sólo consiste en una acumulación de observaciones bien clasificadas. La asimilación consiste, por el contrario, en considerar el conocimiento como una relación indisociable entre los sujetos y el objeto. El objeto, dicen Piaget y García, constituye un contenido que los sujetos le imponen una forma extraída de sus estructuras anteriores pero ajustadas a ese contenido, modificando el esquema asimilador por medio de acomodaciones que consisten en hacer diferenciaciones en función del objeto que se ha de asimilar. La asimilación como instrumento básico del conocimiento, contradice todo empirismo que supone que el conocimiento es una copia de la realidad, y también se opone a todo apriorismo ya que no considera que los esquemas de asimilación estén predeterminados sino que se construyen continuamente nuevos esquemas en función de los precedentes. (García y Piaget; 1984, 246)

La acción, de acuerdo con nuestro autor, es el punto de partida del proceso cognoscitivo y es el intermediario entre los objetos y los eventos de un lado, y los instrumentos cognoscitivos por otro. Las acciones son generadas en el comienzo del proceso cognoscitivo (niñez) por impulsos internos y después por el entorno social, que situará al sujeto en un contexto en el cual los objetos o situaciones tienen significaciones especiales, es decir, que desempeñan ciertos papeles y no otros. Las experiencias quedan subordinadas al sistema de significaciones que establece el medio social y que se transmiten al sujeto cognoscente a través del lenguaje. El contexto social y las significaciones que de allí se derivan, influyen en la construcción de conocimiento toda vez que permiten la reformulación de los problemas que son objeto de estudio científico. (García, 2000, 92)

La acción es un saber hacer (*savoir faire*) que el sujeto ha construido con las bases bio-psico-sociales que posee. A partir de este saber hacer efectúa conceptualizaciones que parten de las

“zonas de acomodación” que permiten la coordinación interna de las acciones del sujeto. (Piaget; 1974 cit. en García; 2000,65)

Llevar a cabo estas reiteraciones va a generar lo que Piaget llamó esquemas de acción que se generan a partir de la repetición de la acción, misma que no es elegida al azar sino que obedece a un propósito determinado. Al principio tienen apariencia caótica pero se van regularizando y repitiendo en forma coordinada hasta integrar movimientos organizados con un objetivo determinado que es la definición que da Piaget a los esquemas de acción. Los esquemas de acción pueden ser motores, sensoriales, perceptivos y volitivos. (García; 2000, 62)

Cuando los autores se refieren a “esquemas de acción” no están hablando de sujetos actuando sobre objetos, se refieren más bien a sujetos que interactúan con su entorno, con algo externo a sí mismos. Las acciones repetidas que se ejercen a partir del encuentro con "múltiples realidades" no sólo generan esquemas que permitan organizar esas experiencias sino que al mismo tiempo son organizantes en tanto que esas experiencias u objetos adquieren significación, es decir, el sujeto tiene conciencia de las acciones posibles que puede ejercer sobre el objeto o cómo actuar frente a él. Esta significación está estrechamente ligada a los procesos funcionales básicos: la asimilación y la acomodación. Por todo ello, la consideración fundamental de la concepción constructivista del conocimiento es la relación indisoluble entre el sujeto y el objeto. (García; 2000, 70)

Pero este proceso no es unidireccional, el sujeto requiere además acomodar los esquemas a las propiedades específicas de los objetos. Los esquemas nunca permanecen aislados y la coordinación de esquemas conduce a la construcción de nuevas asimilaciones. Las asimilaciones cognoscitivas incluyen tanto la construcción de nuevos esquemas como la acomodación de los anteriores y de sus coordinaciones. Los esquemas de acción tienen una triple raíz: biológica, psicológica (representada por las coordinaciones de las acciones) y empírica (referida al mundo en el cual se ejercen las acciones). (García; 2000, 85)

Cada vez que asimilamos un nuevo objeto, idea o concepto, lo significamos. La significación de un objeto está dada por "lo que se puede hacer con él", "lo que se puede decir de él" o "lo que puedo pensar de él". Es el resultado de la asimilación del objeto a un esquema de acción

específico. La significación también está ligada a los cambios y transformaciones que experimenta el objeto como resultado del accionar del sujeto. La atribución de significación a objetos y situaciones se realiza a través de múltiples relaciones provenientes de la coordinación de los esquemas. (García; 2000, 68)

2.2.1 Constataciones e inferencias

Una vez que las experiencias del sujeto dejan de presentársele como azarosas o fortuitas gracias a la construcción de esquemas, el sujeto es capaz de anticipar el resultado de una acción, deja de constatar, es decir, relacionar una acción con una observación para pasar a la inferencia que consiste en establecer relaciones entre acciones sin la necesidad de una observación correspondiente. Las constataciones, de acuerdo con García, son el germen de las relaciones causales. (García; 2000: 60)

García (2000, 68) aclara que las constataciones reiteradas producen anticipaciones que son a su vez formas elementales de las inferencias, pero paulatinamente, afirma, las constataciones van adquiriendo un carácter inferencial, porque lo que se constata son anticipaciones inferidas. Esto quiere decir que las acciones ligadas a observaciones que seleccionamos y registramos en la experiencia corresponden a las teorizaciones que hayamos asumido previamente. Las constataciones y las inferencias son los dos lados de una misma forma, y no corresponden a percepciones y conceptualizaciones sino que desde el acto de percibir se establecen inferencias.

García (2000, 85) afirma que lo que se presenta como dato en la experiencia tiene ya un carácter de construcción ya que una experiencia cognoscible siempre es incorporada a los esquemas que el mismo va construyendo, por lo tanto todo observable está conformado por una parte proveniente del objeto y otra proveniente del sujeto. Cualquier “hecho”, propiedad, acción o evento es un observable desde el momento en que es interpretado, es decir, “revestido de una significación relativa a un contexto más amplio”. La búsqueda de explicación causal es el grado máximo de construcciones de los sujetos en torno a la interpretación de aquello que se denomina *realidad*. Este es el caso del conocimiento científico. La intervención de los sujetos en la interpretación del objeto es tan importante que puede llegar a haber una deformación o una represión o rechazo del observable.

2.2.2 Forma y contenido

Una vez que se han constituido los esquemas de acción, éstos pueden ser transferidos a nuevos objetos. De esta manera, el sujeto puede asimilar nuevas experiencias, conceptualizaciones, situaciones u objetos, cada vez que hay asimilación, el esquema previo del sujeto se mantiene pero cambia de contenido. Un esquema, recordemos, es la manera en que el sujeto coordina sus propias acciones frente a un objeto, sujeto, experiencia, situación o suceso que pretenda conocer. Esta coordinación, que inicialmente se construyó para ser aplicada a una situación específica, se desprende de esta situación para ser sustituida por otra. Cuando García y Piaget hablan de transferencia de esquemas de acción, se refieren a que lo que se transfiere es una forma sin contenido. Por ello afirman que los sujetos construyen desde el inicio y permanente y continuamente formas organizativas de sus propias acciones que les permitirán incorporar nuevos elementos del entorno que tendrán que ser significados de maneras nuevas y diversas para poder ser asimilados. Estas formas organizativas, afirman, son estructuraciones dinámicas, es decir son elementos interrelacionados que surgen a partir de la coordinación de las acciones del propio sujeto cognoscente. (García; 2000, 62)

Las formas son los esquemas de acción desprendidas de sus contenidos iniciales y los contenidos son aquellos objetos, situaciones, sucesos, experiencias, fenómenos, que el sujeto asimila a lo largo de su desarrollo cognitivo.

2.2.3 Procesos constructivos elementales

Los instrumentos básicos de construcción de conocimiento, de acuerdo con Piaget, son la abstracción y la generalización. Ambos conceptos conservan su definición original pero son ampliados y dotados de una significación epistemológica particular.

En torno a la abstracción Piaget distingue dos tipos:

1. Abstracción empírica. Está “referida a los objetos exteriores, en los cuales el sujeto constata ciertas propiedades, características o hechos, que son separados (abstraídos) de los otros para analizarlos independientemente”.

2. Abstracción reflexiva. Esta “referida a las acciones y operaciones del sujeto”...”tiene un modo de funcionamiento más complejo, y una significación epistemológica más importante, debido a que el calificativo de reflexiva se aplica en dos sentidos...:”
 - Como reflejante ya que forma la imagen de algo en una superficie o nivel distinto.
 - Como reflexionante, es decir, considerando una cosa con detenimiento.

García (2000: 63) afirma que “En la abstracción reflexiva ambos sentidos son inseparables ya que, en primer término, lo que es abstraído de un nivel pasa (o se refleja) en otro nivel (de la acción a la representación, o de la representación a la conceptualización, o de allí a la operación en niveles sucesivos). Luego en el nuevo nivel, el sujeto centra su atención (con grados progresivos de “conciencia”) sobre lo que fue abstraído del nivel inferior”.

Por otra parte, se encuentra la generalización, como el segundo de los procesos constructivos elementales. Piaget distingue nuevamente dos tipos de instrumentos básicos:

1. Generalización inductiva o extensional. “...es el instrumento de desarrollo del conocimiento que la filosofía especulativa consideró como un proceso que conduce a la constatación de hechos singulares repetidos, a nociones, conceptos o leyes generales; o bien, a partir de hechos constatados durante un intervalo de tiempo, “abstraer una relación que se ha repetido y considerar que seguirá siendo válida en futuros hechos del mismo tipo”. Es decir, un proceso que se basa en constataciones de observables referidos a objetos externos al sujeto, de donde, por abstracción empírica se extraerá la propiedad que será objeto de la extrapolación de “algunos” a “todos” o de “ahora” a “siempre”. (García; 2000: 64)
2. Generalización constructiva o completiva. ...”es una noción nueva, que Piaget caracterizó como conducente a la producción de nuevas formas” “...La generalización completiva tiene como base la abstracción reflexiva. En efecto, el desarrollo consiste en un progresivo reemplazo de constataciones de hechos, y de sus resultados obtenidos a través de abstracciones empíricas, por reconstrucciones que implican inferencias y ponen en juego nuevas formas de organización que concluyen en un conjunto de relaciones encadenadas deductivamente” (ibíd.). Esta operación cognoscitiva constituye síntesis nuevas en las cuales las leyes particulares adquieren

nuevas significaciones. Estas generalizaciones consisten en retomar las partes a partir de un todo (esquemas previos) enriqueciéndolas y de esta manera integrando nuevo conocimiento al anterior

Dicha reconstrucción, afirma García (2000,69), requiere de una reflexión del dato empírico en un nivel superior que puede ser representativo (en el sentido de evocación) o conceptual. Por ello abstracción reflexiva y generalización completiva son interdefinibles.

Todo desarrollo cognoscitivo, afirma nuestro autor, requiere de sucesivas diferenciaciones e integraciones. Cuando realizamos constataciones estamos diferenciando hechos de distinta naturaleza, cuando reflexionamos sobre las propiedades de los hechos hacemos una nueva diferenciación. Cuando hacemos comparaciones sobre las distintas variaciones de un hecho, objeto, situación o experiencia, estamos haciendo integraciones que conducen a las generalizaciones, estas últimas requieren *per se* de un proceso de integración. (García; 2000: 63)

En este sentido, nuestros autores afirman que el conocimiento es un proceso de sucesivas diferenciaciones e integraciones que se construyen en cada nivel. De esta manera cada dato, observación, interpretación o experiencia es construido en niveles anteriores y reconstruido en niveles superiores pero también puede darse de forma inversa: las construcciones resultantes de niveles superiores conducen a la reinterpretación de los observables anteriores. (García; 2000: 64-65)

2.2.4 Correspondencias y transformaciones

Las formas de construcción de conocimiento más generales, de acuerdo con Piaget, consisten en comparar y transformar. Comparar, en palabras de García (2000, 164) es establecer correspondencias, que no consisten en simples relaciones sino que requieren que la acción pueda repetirse. Esto quiere decir que las correspondencias necesitan de los esquemas de acción para su formulación.

La epistemología genética, en palabras de García, puso de manifiesto un proceso general de construcción cognoscitiva que está presente en todos los niveles y que es resultado de las

relaciones mutuas entre correspondencias y transformaciones que adquieren distintas formas a lo largo del desarrollo cognoscitivo de los sujetos. Este proceso consta de dos momentos:

El primer momento consiste en una comparación simple de objetos a través de constataciones empíricas. Toda comparación, afirma García, requiere de la organización o estructuración de las experiencias. En este primer momento se establecen correspondencias que “consisten en aplicar las mismas formas a diferentes contenidos”. Establecer estas correspondencias, como se ha dicho, transforma a los objetos, las transformaciones “relacionan las formas, y estas formas varían, ya sea por modificación material de los contenidos, o bien por modificaciones de su organización” (García; 2000: 66) Los autores definen *Transformación* como la construcción de nuevos contenidos a partir de otros que no los contienen analíticamente.

Un segundo momento consiste en la inferencia de transformaciones -ligadas a las acciones- a partir de la cual “las correspondencias se explican o se hacen evidentes a partir de las transformaciones” La relación inversa entre correspondencias y transformaciones en este momento se torna evidente al nivel de la ciencia, “cuando una ley empírica, descubierta por generalización inductiva de correspondencias que surgen de sucesivas constataciones, pasa a ser deducible dentro de una teoría que explica las transformaciones que generan las correspondencias” (ibíd.) al respecto de estos procesos los autores afirman:

“En el desarrollo de los procesos cognitivos existen correspondencias que permiten comparar los objetos de estudio. Pero también transformaciones que permiten la construcción de nuevos contenidos a partir de otros que no los contienen analíticamente. Sin embargo, si no hay una toma de conciencia de las transformaciones como tales, no se logrará un nivel de desarrollo que permita superar las fronteras cognitivas de los sujetos” (García, Piaget; 1984: 20)

Una de las herramientas cognoscitivas que permiten a los sujetos arribar a las transformaciones es la conmutabilidad. La conmutabilidad es la capacidad que tiene un sujeto para cambiar o sustituir una percepción, una idea o un concepto por otro, ya sea invirtiendo su sentido o transformándolo en una nueva forma. En los casos de cambio de perspectiva intervienen inversiones para los sujetos cuando lo que era invisible se torna visible o viceversa. Pero para llegar a la transformación, la reversión o reestructuración de sentido tiene que desenvolverse continuamente y cada vez más con mayor amplitud.

2.2.5 Dinámica del desarrollo cognoscitivo

El proceso de desarrollo de conocimiento consiste en el pasaje de la atención focalizada sobre los predicados a la consideración de relaciones y luego de transformaciones. Para lograr las transformaciones es necesario ser capaz de construir relaciones y covariaciones⁹. Pero el conocimiento no se reduce a una conexión entre observables sino que es el resultado de las acciones de un sujeto que es capaz de hacer variar dichos observables, son las acciones de los sujetos las que determinan la inteligibilidad de los objetos. (Piaget, García; 1984: 82)

La dinámica del desarrollo cognoscitivo está expresada en la tríada de etapas Intra operacional, Inter operacional y Trans operacional (IaIrT) constituye el más general de los mecanismos que rigen la progresión del conocimiento y tiene un carácter dialéctico ya que el paso de una etapa de la tríada a la otra consiste en el establecimiento de interrelaciones entre elementos a partir de los cuales se transforma una estructura dinámica.

Los mecanismos constructivos son descritos a través de la triada Intra operacional, Inter operacional y trans operacional (IaIrT). La etapa intra operacional está centrada en las propiedades de los objetos, situaciones o experiencias que se analizan de manera aislada, sin vinculación con otros casos (García; 2000, 84-89).

Lo propio del periodo intra es la construcción de observables empíricos y la búsqueda del análisis de sus diversas propiedades internas o de sus consecuencias inmediatas. Este periodo tiene dos limitaciones, el primero está relacionado con la no coordinación entre operaciones y la segunda que el análisis de las propiedades del objeto se acompaña de errores, así como de lagunas en la inferencia de consecuencias que de ella puedan deducirse. Otra característica fundamental de la etapa intra consiste en que los sujetos se mantienen apegados a una acción correcta (efectiva) que ha sido repetida, pero sin poder todavía insertarla en un sistema de transformaciones solidarias. (Piaget, García; 1984: 163-165)

⁹ Relación existente entre dos variables, de manera que todo aumento o disminución de ellas se traduce en un aumento o disminución de la otra.

Es importante recalcar que desde la perspectiva constructivista, los elementos perceptivos no existen independientemente de las relaciones que los vinculan, y son las relaciones las que componen la realidad como tal. (García; 2000, 82)

La etapa inter-operacional se caracteriza por el establecimiento de comparaciones entre diferentes casos y el establecimiento de relaciones. Esta etapa está caracterizada por abstracciones reflexivas y generalizaciones inductivas, en donde las propiedades de los objetos constatadas en la etapa intra son comprendidas en esta nueva etapa como invariantes de transformaciones, es decir, aquello que permanece durante el cambio de un objeto con el tiempo. (García; 2000, 83)

Y por último en la etapa trans operacional, se forman nuevas estructuras que se redefinen, reconstruyen y reorganizan de manera tal que emergen nuevas propiedades. En esta etapa *se pasa de comprender las propiedades como invariantes de transformaciones a la concepción de una estructura total que las integra*, es decir, que se pasa de inducciones que generalizan lo particular (constataciones) a deducciones que integran diversos fenómenos en una teoría que va de lo general a lo particular y que se expresa mediante procesos puramente endógenos. En esta etapa dejan de considerarse solamente las propiedades y sus relaciones para concebir los fenómenos como procesos. García (2000) lo expresa en los siguientes términos:

“El desarrollo puede así visualizarse como una progresión que comienza en una fase constructiva de fuente exógena (intra) y llega a ser endógena (trans) pasando por una fase de transición que podemos llamar exo-endógena (inter). Esta progresión corresponde al pasaje de propiedades a transformaciones, y de estas a estructuras, que constituyen las sucesivas formas de organización de los conocimientos”. (García; 2000: 84)

De acuerdo con García, esta tríada (IaIrT) es una sucesión dialéctica que incluye dos tipos de transformaciones cognitivas: la primera consiste en el paso de las identificaciones y adiciones de propiedades de objetos en una etapa intra, al análisis de procesos de transformación mediante diferenciaciones y relativizaciones, la segunda sucede cuando se lleva a cabo un nuevo proceso de relativización para poder coordinar las transformaciones para que puedan agruparse en subsistemas que se integran mediante una síntesis dialéctica en totalidades relativas. Las relativizaciones consisten en el establecimiento de interdependencias entre los elementos, características o propiedades de un objeto de conocimiento a través de inferencias

o anticipaciones que no se reducen a enunciados que se puedan valorar como verdaderos o falsos en general sino que responden a un contexto particular. (García, 2000: 83-85)

Esta sucesión de etapas puede analizarse en sentido inverso, comenzando por la etapa Trans, que está representado por un sistema de transformaciones, ya que esta totalidad relativa fue construida en el nivel anterior, es decir, en la etapa Inter, misma a la que le precede la identificación y relaciones de propiedades de los objetos que caracteriza a la etapa Intra.

Si bien García establece que las etapas se preceden unas a otras, la tríada no puede tener un orden determinado de manera lineal. Cada etapa, dice el autor, se desarrolla gracias a los procesos constituidos por subetapas que se preceden y se imbrican unas a otras. (García; 2000, 87)

El paso a la siguiente etapa se da cuando las interrelaciones no son suficientes por sí mismas para permitir el paso a la siguiente etapa debido a que tales interacciones no consisten simplemente en mostrar que un elemento está en relación con otro sino que es necesario despojar de todo carácter absoluto a las propiedades de los elementos que son resultado de su interrelación con los otros elementos del sistema, y se consideran como casos particulares de una propiedad más general. Esto quiere decir que es necesaria una teoría explicativa lo suficientemente general como para servir de marco interpretativo de un fenómeno constatado. (García (2000, 84)

El sistema cognoscitivo, por otra parte, está constituido por dos componentes: un componente endógeno que corresponde a las estructuras lógicas o conceptuales utilizadas por el sujeto en cada nivel de desarrollo; y un componente exógeno que está constituido por observaciones e interpretaciones de hechos que tienen referencia en el mundo empírico. El componente exógeno permanece subordinado al componente endógeno, lo que quiere decir que nuestras construcciones lógicas guían nuestra interpretación de hechos. Si bien el componente endógeno se genera a partir y con base en el componente exógeno, adquiere independencia en tanto que puede ser generalizado y aplicado a distintas situaciones. Ambos componentes se encuentran en interacción e interrelación, son interdependientes e interdefinibles. (García, 2000, 86)

De acuerdo con García (2000, 89), los elementos en interacción que intervienen en el desarrollo del conocimiento en las fases estabilizadas son cuatro: los observables provenientes de las constataciones sobre los objetos (Obs O) que pueden ser el registro y descripción de objetos y eventos singulares como también las relaciones entre dichos observables que adquieren también el carácter de observable; las observaciones del sujeto sobre sus propias acciones, que se manifiesta a partir de la toma de conciencia por parte del sujeto sobre sus actos y conceptualizaciones (Obs S); la forma como el sujeto coordina u organiza sus acciones y conceptualizaciones (Coord. S); y finalmente, aquellas coordinaciones que establece el sujeto con los objetos, desde relaciones entre eventos hasta relaciones causales (Coord. O)

Los elementos endógeno y exógeno tienen relaciones, interacciones e interdependencias, es decir que no funcionan de manera autónoma. Estas interacciones e interdependencias que suceden entre las observaciones que hace el sujeto sobre sus propias acciones (Obs. S) y los observables de los objetos que define (Obs. O) influyen en la manera en que el sujeto coordina sus acciones (Coord. S) y las relaciones que establece entre los objetos (Coord. O) (García; 2000: 87).

Asimismo el proceso cognoscitivo no termina con las nuevas estructuras construidas en la etapa trans puesto que éstas construcciones pueden tomarse nuevamente como datos que se presenten en un nuevo análisis intra, ubicando propiedades asignadas a los objetos que tienen un carácter pseudoexógeno, es decir que no provienen del objeto sino de las concepciones del sujeto. Este proceso semeja una estructura fractal en la que la tríada se repite a diferentes escalas y con contenidos distintos. (García; 2000, 89)

El conocimiento se desarrolla a través de lo que García denomina el *helicoide dialéctico*, utilizando esta forma como metáfora de los distintos ires y venires, avances y retrocesos en los cuales nunca se llega al mismo punto sino que cada retorno se realiza en otro plano de nuestras construcciones cognoscitivas. Estas construcciones están constituidas por el establecimiento de interdependencias entre los distintos elementos que conforman al sistema cognoscitivo. Las interacciones entre los elementos permiten que el proceso cognoscitivo se desarrolle en sucesivas reorganizaciones en las cuales las modificaciones, reconstrucciones

o construcciones que se realizan en un nivel superior, permitan reformular y enriquecer las formas constructivas en un nivel anterior. (García; 2000: 83)

Si bien los autores hacen una extensa explicación de las formas en las que pueden llevarse a cabo dinámicas constructivas del conocimiento, es importante mencionar aquellas ataduras que obstaculizan su desarrollo. Estas formas, constituyen lo que los autores denominan seudonecesidades o pseudoimposibilidades.

2.2.6 Seudonecesidades

La seudonecesidad en palabras de los autores es una forma de reacción cognoscitiva que está relacionada con un mecanismo que funciona ejerciendo una acción de bloqueo. La seudonecesidad está caracterizada por una indiferenciación en donde una forma o un observable aparecen al sujeto como los únicos posibles y por lo tanto necesarios, dichos observables son tenidos como los únicos razonablemente inteligibles. La seudonecesidad constituye la fase elemental de indiferenciación de un proceso general de diferenciación o coordinación correlativa entre lo posible, lo real y lo necesario. (García, 1984, 48)

Las seudonecesidades influyen sobre la lectura de los datos empíricos y sobre la formación de las teorías epistémicas porque imponen limitaciones a los observables posibles y conducen a realizar falsas generalizaciones que se imponen sobre aquellas que pueden ser correctas. La seudonecesidad se expresa en la dificultad de imaginar otros posibles que difieran de la forma que se presenta al sujeto como realidad “natural”, actual. Es necesario quitarnos las limitaciones que imponen las seudonecesidades para el desarrollo cognitivo que permita la apertura sobre nuevos posibles y a la construcción de otras necesidades. Los nuevos posibles “no se engendran sino uno a uno, aun cuando la serie se torne larga como consecuencia de la repetición incesante de la pregunta ¿Podemos hacerlo de otra manera?”. (Piaget, García; 1984: 80-83)

2.3 Sociogenésis del conocimiento científico

Este concepto engloba el análisis de la influencia que puede tener el contexto sociocultural en el desarrollo de las teorías científicas a través del análisis histórico-crítico de la ciencia. Este análisis proveerá el material empírico para el análisis epistemológico. Lo que no interesa

para este tipo de análisis son las “crónicas” de la ciencias, es decir, la descripción de quién hizo qué y cuándo. Tampoco interesan los hechos socio-culturales o económicos y políticos que ocurrieron en la misma época. Esto es así porque hay que tener cuidado con no realizar estudios lineales, con esquemas de causa-efecto o el estudio de casos singulares. Es imprescindible en cambio, realizar estudios comparativos entre diversas civilizaciones y en diversos contextos socio-culturales sobre el tipo de conocimiento que han desarrollado. (García; 2000, 97) El objetivo del análisis histórico-crítico es establecer qué factores impidieron el desarrollo de ideas que no fueron aceptadas en un periodo histórico, ideas que tuvieron que esperar hasta siglos para su aceptación e investigación. La hipótesis de Piaget y García es que estas ideas no podían ser asimiladas por la falta de una serie de conceptos, métodos y teorías sin los cuales imposibilitaban su desarrollo. (Piaget, García; 1984, 31)

García expresa que para realizar una evaluación de los procesos cognoscitivos en un periodo histórico es necesario considerar el contexto socio-económico-cultural de cada país o región puesto que dicho contexto y las matrices de pensamiento que se engendran en el mismo, son la base que prepara el terreno para los nuevos descubrimientos. Estos sistemas de pensamiento, representan lo que nuestros autores han llamado *marco epistémico* [que] “representa un sistema de pensamiento, rara vez explicitado, que permea las concepciones de la época en una cultura dada y condiciona el tipo de teorizaciones que van surgiendo en diversos campos del conocimiento.” y continúa más adelante “(...) un marco epistémico condiciona las teorizaciones en diversas disciplinas pero no determina su contenido. Orienta y modula los marcos conceptuales, pero no los especifica.” (García; 2000, 100)

Es fundamental insistir que desde la perspectiva constructivista, las concepciones del mundo y de la sociedad que caracterizan a un contexto histórico no inciden directamente en la dirección que toma la ciencia en un contexto particular sino que condiciona las características de las conceptualizaciones y las actividades de carácter científico. (García; 2000, 101)

Para realizar una análisis del marco epistémico deben tomarse en cuenta tres componentes: 1) los factores socio-políticos y filosófico-religiosos; 2) Cosmovisión imperante; 3) Concepción de la naturaleza y el tipo de preguntas que se formulan para su estudio. (García; 2000, 102)

En esta sección hemos retomado la propuesta teórica de García y Piaget en torno a los procesos de construcción de conocimiento científico con el fin de que nos sirva de guía para la reflexión epistemológica que aquí se propone.

Como hemos visto, nuestros autores renuncian a toda posición empirista o innatista para explicar cómo se construye el conocimiento científico, en lugar de ello proponen que son los sujetos cognoscentes los que van construyendo en distintas etapas del proceso, las herramientas con las que interpretan al mundo. Dicha construcción sólo es posible con la participación de tres esferas interdependientes: biológica, psicológica y social. Si bien es ésta última la materia de análisis de la sociología, de acuerdo a este enfoque no es recomendable seguir considerando los elementos por separado sino en la medida de lo posible, ir integrándolos. Esta integración no implica la eliminación de las disciplinas ni mucho menos, una buena integración tiene como base una construcción teórica sólida desde las disciplinas, no se trata de juntar elementos al azar y prescindiendo de las distintas ciencias, al contrario se necesitan buenos análisis disciplinarios para que esto sea posible.

El desarrollo cognoscitivo no se limita a ser un elemento psicológico de los sujetos, pues como hemos mencionado a lo largo del trabajo, la construcción del conocimiento tiene tres componentes principales, biológicos, psicológicos y sociales. Por ello nuestros autores comienzan proponiendo una serie de mecanismos que intervienen en la creación de conceptualizaciones y percepciones. Estos tres elementos (Intraoperacional, Interoperacional y Transoperacional) explican cómo es posible pasar de elementos a relaciones y de relaciones a transformaciones a la hora de realizar descripciones sobre el mundo. El contenido de esas descripciones es provisto por el medio social que confiere significados, sentidos e interpretaciones que orientan-no determinan- los problemas, las preguntas, los fenómenos que son objeto de estudio de las diferentes ciencias.

A continuación haremos un breve recorrido por las propuestas que han intentado explicar el conocimiento científico.

2.4 La filosofía de la ciencia

De acuerdo con Morris Weitz (Cit. En García; 2000, 124) las principales filosofías de la ciencia que hubo desde el siglo XVII fueron cuatro: la primera está basada en una concepción

según la cual la filosofía debe aceptar los resultados de la ciencia y generalizarlos para que puedan ser aplicados a todos los aspectos de la realidad. La segunda, que tiene como principal representante a Hume, sostiene que la función de la filosofía es disputar las suposiciones de la ciencia en torno a los conceptos de inducción, causalidad, sustancia, etc. La tercera posición, cuyo exponente principal es Berkeley, afirma que la filosofía debe interpretar los conceptos y teorías de la ciencia para que estén en armonía con los hechos de la experiencia humana. La cuarta, representada en la concepción de Kant, sostiene que la función de la filosofía es la justificación de la ciencia como método o como cuerpo teórico. Finalmente, podemos ubicar al empirismo lógico. (García; 2000, 125)

La hipótesis de base en la postura empirista es que “Las teorías científicas son reducibles a conjuntos de enunciados cuyo valor de verdad (verdadero o falso, en el sentido de la lógica proposicional) depende exclusivamente de su correspondencia con datos observacionales”. Por lo tanto, “La ciencia es objetiva y universal, es decir, se refiere a hechos que son independientes del observador y de las teorías que los expliquen”. (García; 2000:126)

Aunado a esto, la filosofía de la ciencia, desde el siglo XX adoptó como referencia de análisis, una distinción introducida por Reichenbach entre lo que se llamó “contexto de descubrimiento” y “contexto de justificación”. El contexto de descubrimiento se refiere a la forma en que un concepto, explicación o teoría científica es introducido en la ciencia. El análisis de este elemento es esencial, sin embargo, no es tarea del filósofo de la ciencia, sostiene Reichenbach sino del historiador o del psicólogo. El contexto de justificación, por el contrario, se ocupa de cómo las teorías y conceptos científicos pueden ser justificados con una metodología rigurosa que esté basada en una reconstrucción racional de dichas propuestas. El contexto de justificación, afirma García, ignora la génesis de las teorías y las saca de todo contexto, a pesar de que es sólo en éste donde adquieren sentido. (García; 2000:127)

La filosofía de la ciencia se dividió en dos corrientes: por un lado estaban las posturas de exponentes como Kuhn, Toulmin, Russel Hanson, entre otros, que prestaban especial énfasis a la historia de la ciencia y a los factores sociológicos que influyeron en las concepciones de los científicos; y por otro los que asumen que la ciencia tiene sus propios mecanismos de validación estrictamente racionales y que factores externos no intervienen en dichos

mecanismos. Por su parte García propone una filosofía de la ciencia constructivista que tiene como fundamento dos tipos de procesos constructivos: por un lado la lógica natural que utiliza el adulto en el lenguaje común y por otro los conceptos básicos de la ciencia empírica. (García; 2000:128)

El análisis epistemológico que se desprende de dichas hipótesis es que están implicadas al menos tres tipos de dicotomías en dichas hipótesis. La primera consiste en considerar que el lenguaje científico está constituido por dos componentes, uno observacional y otro teórico, en donde el segundo es reducible al primero. Esta dicotomía conduce a un empirismo radical en el cual el significado de un enunciado está dado por sus condiciones de verificabilidad; la segunda dicotomía consiste en separar la forma de validación de un conocimiento (contexto de justificación) de su historia (contexto de descubrimiento) que lleva a una concepción de la filosofía de la ciencia que sólo se ocupa de la reconstrucción racional de las teorías que se proponen. La tercera dicotomía consiste en la separación entre los enunciados analíticos (“una proposición cuya verdad está únicamente determinada por el significado de sus términos y es independiente de los hechos”) y los enunciados sintéticos (“cuya verdad depende de los hechos”). (García; 2000, 129)

Esta concepción de la ciencia, implica que los filósofos, sociólogos o epistemólogos de la ciencia acepten que hay criterios objetivos y universales de confirmación o refutación de las teorías científicas, lo que implica a su vez, que la ciencia se desarrollaría a partir de la acumulación o la adición de nuevos conocimientos. (García; 2000:131)

La relación entre teoría y observación, afirma García, no es directa ni unidireccional, no se trata de hacer un análisis de lo que la teoría toma de la de observación o de la experiencia sino de la relación entre ambas, en donde los niveles de organización de las observaciones sobre las cuales se construyen los conceptos y las teorías funcionan como identificadoras y seleccionadoras de las observaciones (García, 2000: 131) es decir, que las teorías son nuestra guía a la hora de observar.

Es fundamental reconocer que esta postura ya está esbozada en Kuhn (1971) quien afirma que un descubrimiento científico es posible si existen las herramientas conceptuales y

experimentales que lo hagan posible y admisible, dichos recursos son posibilitados por el paradigma específico. (Kuhn; 2004: 111)

2.5 La explicación científica

Uno de los conceptos fundamentales para todo análisis epistemológico de la ciencia es el de Explicación. Comenzaremos esbozando algunas preguntas sugeridas por García (2000, 130) ¿Qué es lo que las teorías científicas explican?, ¿Cómo lo explican? y ¿En qué consiste explicar? El constructivismo ha respondido a estos cuestionamientos de la siguiente manera:

En primer lugar es necesario hacer una distinción entre explicación y relación causal. Una relación causal consiste en formular una serie de inferencias, mostrando que se puede establecer un proceso que vincula un fenómeno o una situación dada *B*, con un fenómeno o situación precedente *A*. A menudo la explicación ha sido equiparada con el establecimiento de relaciones causales. Sin embargo, afirmar que a un fenómeno *B* le precede otro *A*, no es por sí mismo una explicación puesto que lo que se establece como causa y efecto pueden ser simplemente sucesiones temporales visibles. Los vínculos causales, en cambio, no son observables. “Las sucesiones temporales repetidas conducen, por generalización inductiva, a formular leyes generales que tienen carácter descriptivo pero no explicativo”. (García; 2000: 134)

La causalidad dicen Piaget y García, no expresa solamente el hecho de que *B* sigue siempre a *A*, sino que pretende desentrañar el modo de transformación que conduce de *A* a *B* y “una vez que se pone de manifiesto la transformación que explica el pasaje de *A* a *B*, se presenta la cuestión de saber por qué es así, y a un nuevo progreso del cómo, sucederá un nuevo por qué”. (García; 2000: 136)

La diferencia entre una relación y una explicación causal es que en las primeras las relaciones que se establecen entre los objetos permanecen con sus propiedades y características cerradas. En la causalidad, en cambio, el objeto mismo se transforma debido a la interacción con otros. En este caso, dicen los autores, hay un pasaje de relaciones inclusivas a relaciones constructivas. En este proceso las relaciones entre formas y contenidos son modificadas ya que es el contenido el que se convierte en base y fuente de conexiones necesarias, esto es así debido a que los objetos, relaciones y transformaciones de la realidad no son simplemente

interpretados por una traducción posible (entre otras) sino que se convierte en la estructura aceptada de dicha realidad. En otras palabras, las formas de interpretar la realidad no son ya simplemente “aplicadas” a los objetos sino que se les “atribuye” una necesidad ontológica. La “realidad” es conocida por los sujetos sólo a través de modelos que ellos (y su contexto sociocultural) construyen. (Piaget, García; 1984, 27)

Para la epistemología constructivista, afirma Piaget, explicar consiste en atribuir a las relaciones empíricas conexiones necesarias que se verifican en conceptualizaciones dentro de teorías científicas que provienen de inferencias, no de datos empíricos. Esto quiere decir que la explicación es una atribución teórica que no es directamente observable. (García; 2000: 140)

Esta idea ya estaba presente en Hume quien considera que una buena parte de las leyes elaboradas por la ciencia intentan demostrar la existencia de una relación causa-efecto entre acontecimientos o sucesos que ocurren en la naturaleza. Sin embargo, lo único que verdaderamente percibimos es una sucesión de fenómenos. La relación causa-efecto que se cree demostrar no puede ser percibida de por sí. Se trata más bien de una idea compuesta, es decir, que es elaborada por nuestra mente y no corresponde a una impresión de nuestros sentidos (Andreu, 2000).

Por otro lado, la profundización de un determinado tema de investigación que se traduce en una concentración de esfuerzos en el estudio de ciertos tipos de fenómenos responde a dos factores: el primero es debido a un interés puramente científico en el cual una comunidad científica trabaja para remover contradicciones en alguna teoría o la explicación de fenómenos que no han podido analizarse desde ninguna teoría conocida. El segundo factor es la presión de los sectores sociales cuyo interés es la solución de problemas prácticos o en función de intereses económicos o políticos. A modo de ejemplo, García-Piaget afirman:

“La física nuclear no hubiera logrado algunos de los avances más espectaculares sin el estímulo y los poderosos medios puestos a su disposición por los gobiernos interesados en la utilización de la energía nuclear para la guerra. Si los estímulos hubieran sido diferentes, otros campos de la ciencia pudieron haber recibido mayor atención por parte de un gran número de los mejores cerebros de nuestro tiempo; otros descubrimientos hubieran tenido lugar, otras teorías hubieran surgido para dar cuenta de ello” (Piaget-García; 1984: 230)

Y más adelante afirman:

“Un gran sector del conocimiento científico se va expandiendo no de manera estrictamente racional, en respuesta a una problemática interna, sino de una manera un tanto arbitraria y por un conjunto de impulsos orientados por requerimientos externos impuestos por la sociedad”. (Piaget-García; 1984: 230)

Aunque señalan que esta no es una influencia unidireccional, puesto que los sujetos o comunidades científicas también estimulan el interés social por ciertos temas (en el caso de la energía nuclear, estimularon el interés militar).

Los estímulos al desarrollo de ciertos campos de conocimiento en detrimento de otros, explican los autores, se debe a intereses prácticos y no a problemas de naturaleza epistémica y señalan:

“(…) Que el favoritismo de temas haya impulsado a la ciencia en determinada dirección y que la elección de una dirección diferente hubiera producido desarrollos que hubiesen podido modificar el panorama actual de la teoría física, es una cuestión que aparece como subproducto de aquella decisión práctica y no inspirado en razones epistémicas, aun cuando pueda tener profundas consecuencias para el desarrollo del conocimiento científico.” (Piaget, García; 1984: 231)

En este sentido, se hace necesario hacer una distinción entre paradigma social y paradigma epistémico. Un paradigma social influye en “la aceptación o el rechazo de conceptos, ideas o temas a los cuales se les niega en un momento histórico dado el carácter de “científicos” por estar fuera del aparato conceptual que la comunidad científica por acuerdo explícito o tácito considera como el único válido”. Un paradigma epistémico por el contrario, no se impone a partir de normas socialmente establecidas sino que constituye la manera “natural” de considerar la ciencia en un periodo dado por parte de cada individuo que se desarrolla en ese contexto específico y que ha aceptado dicho sistemas de creencias sin que haya imposición externa explícita. Constituye una concepción que ha pasado a ser parte del saber aceptado y que se transmite “tan naturalmente como se transmite el lenguaje hablado o escrito de una generación a la siguiente.” (García, Piaget; 1984: 232)

Los sujetos, afirman Piaget y García, enfrentan el mundo de la experiencia con un arsenal de instrumentos cognoscitivos que les permiten asimilar y por consiguiente interpretar los datos que reciben de los objetos circundantes pero también la información que les es transmitida por la sociedad en la cual están inmersos. Esta última información se refiere a objetos y a situaciones ya interpretados por dicha sociedad. (Ibíd.)

Los autores señalan que la ideología de una sociedad condiciona el tipo de ciencia que en ella se desarrolla. Utilizan el término *ideología* en el sentido de *concepción del mundo*, y señalan que la ideología dominante de una sociedad establece qué es lo que puede conocerse, establece qué es lo absurdo y lo evidente, señalan. (García, Piaget; 1984: 227)

Sin embargo la ideología es también un obstáculo epistémico, en el sentido de Bachelard, ya que no permite el desarrollo de conocimiento fuera del marco conceptual aceptado. Sólo en momentos de crisis, cuando los sucesos o eventos no pueden ya ser explicados por una determinada teoría es que surgen los periodos de revoluciones científicas (en el sentido de Kuhn) en donde se produce una ruptura de la ideología científica dominante y es necesario reformular o reconstruir un nuevo marco epistémico. (García, Piaget; 1984, 228)

Debido a que se cree que lo real consiste en observables directamente obtenidos por la percepción, cada sujeto cree conocerlos y ya que se repiten con cierta generalidad son concebidos como necesarios y únicos posibles en su dominio. Sin embargo, para rebasar o sobrepasar aquello que consideramos como “real” e imaginar otros posibles que nos conducirán a inventar problemas en donde creímos que no había ninguno, es necesario un movimiento colectivo de ideas que nos permita reconfigurar el marco epistémico desde el cual observamos el mundo.

En esta sección hemos expuesto algunos elementos de la arquitectura conceptual de la obra de Rolando García (que retoma de Piaget su teoría de la Epistemología genética, la reformula y realizan trabajos conjuntos).

La propuesta de Piaget y García se ubica en la controversia entre el apriorismo y el empirismo como propuesta epistemológica. La teoría de la relatividad y la mecánica cuántica mostraron que las conceptualizaciones de espacio, tiempo y causalidad debían ser replanteadas desde la ciencia y ya no desde la filosofía especulativa. En el otro extremo, los empiristas más destacados como Russell o Quine intentaron demostrar a través de la lógica moderna cómo es posible pasar de la experiencia a la teoría pero no pudieron reconstruir lógicamente dicho proceso. Quine afirmó en 1959 en el Congreso Internacional de Viena *hemos dejado de soñar en construir la ciencia a partir de los datos de los sentidos*.

Para García es a partir de este periodo histórico que caducan las teorías científicas que se basan exclusivamente en generalizaciones inductivas tal como lo sostenían los empiristas como Bacon, Locke, Hume y Carnap. Pero es precisamente a partir de esas dos crisis que surge el constructivismo y dentro de éste retomamos a la Epistemología genética cuyo planteamiento inicial es desarrollado por Piaget y reformulado y complementado por Rolando García.

La propuesta de nuestros autores tiene dos posturas epistemológicas básicas: el mundo, los objetos cognoscibles, tienen una organización por niveles estratificados con dinámicas propias pero interactuantes entre sí. La segunda postura asume que los objetos cognoscibles evolucionan de una forma no-lineal, es decir, no hay una progresión de las transformaciones que se dirija a un nivel de menor evolución a otro mayor.

Recordamos también que la Epistemología constructivista que exponen nuestros autores tiene como objetivo responder a las preguntas: ¿Qué conocemos?, ¿Cómo conocemos?, por ello el tipo de respuesta que esbozan parte de los mecanismos cognitivos de los sujetos, ambos, tanto los mecanismos como los sujetos no pueden ser separados del contexto social en el que se aplican y dotan de contenido y de sentido a dichos procesos. Por ello es necesario recalcar que para nuestros autores el conocimiento científico es el resultado de la concatenación de tres niveles: biológico, psicológico y social.

Para acercarnos al nivel biológico a continuación presentaremos algunas ideas de los biólogos y filósofos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela, este último también es investigador en el campo de las ciencias cognitivas.

Tampoco debemos olvidar que el análisis de los procesos cognitivos adquiere sentido sólo en el contexto de un análisis epistemológico (desde la perspectiva constructivista que puede definirse como el estudio de los procesos de construcción del conocimiento científico), el contenido de dicho análisis en la presente investigación es el discurso de divulgación científica en torno a los OGM en México. Lo que aquí se pretende es esbozar un análisis de los mecanismos cognoscitivos que se emplean en el discurso de divulgación científica referente a los transgénicos en nuestro país, así como las posturas epistemológicas y presupuestos de los que parten para construir sus modelos teóricos y tecnológicos.

2.6 El conocimiento desde la propuesta de Maturana y Varela

“Toda experiencia cognoscitiva involucra al que conoce de un manera personal, enraizada en su estructura biológica, donde toda experiencia de certidumbre es un fenómeno individual ciego al acto cognoscitivo del otro, en una soledad que sólo se trasciende en el mundo que se crea con él.”

El conocimiento, como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, es un fenómeno que consta de tres componentes: biológico, psicológico y social. En este apartado analizaremos la importancia del primero de ellos desde la perspectiva de Maturana y Varela, biólogos chilenos, autores de *El conocimiento en construcción. Las bases biológicas del entendimiento humano* (1984), de cuya obra retomamos las ideas de este apartado.

Es de vital importancia comprender cómo opera nuestro sistema nervioso para entender qué tipo de relaciones podemos establecer con el entorno que nos rodea, cómo se configuran las percepciones, el lenguaje, las acciones y las interacciones entre individuos. Es necesario, para una teoría del conocimiento integral, que no se den por sentadas estas relaciones, que si bien no son las únicas que hacen posible el conocimiento, son ineludibles si se quiere entender qué conocemos y cómo lo hacemos.

Primero, plantearemos algunas de las nociones clásicas sobre el sistema nervioso que han imperado en el estudio del entendimiento humano; después presentaremos la reconceptualización de éstas de acuerdo a la propuesta teórica de Maturana y Varela.

De acuerdo con la versión clásica, los organismos reciben “instrucciones” o “informaciones” del medio ambiente que luego representan en su sistema nervioso, por lo tanto éste opera captando, procesando, acumulando y transmitiendo información. Esta noción implica que el sistema nervioso esté determinado por el medio ambiente, y que sea éste quien especifique sus características y genere una conducta particular. (Maturana y Varela; 1984, XI)

Sin embargo, para nuestros autores el sistema nervioso no puede generar la conducta, no es un mecanismo de control y por supuesto, ni capta, ni procesa, ni acumula información proveniente del medio. El medio, desde esta perspectiva, no puede especificar las operaciones que son propias del sistema nervioso, sólo puede motivarlas, es necesario que el sistema

seleccione aquellos estímulos que han de transformarlo, pero estas dos operaciones (selección y transformación) son esencialmente internas, es decir, son parte de la clausura operacional del sistema nervioso. (Maturana y Varela; 1984, XI)

Si el sistema no opera con representaciones del mundo, es necesario analizar cómo surgen éstas sin presuponer la existencia de un mundo independiente del observador. Esto nos ayudaría a comprender cómo construimos una realidad que sólo es responsabilidad nuestra. No obstante, esta posición nos podría llevar a la trampa de pensar que nuestro sistema nervioso opera en el vacío, en donde nada existe y por lo tanto todo es posible. Esta idea nos condena a la soledad cognoscitiva en donde lo único que existe es nuestro mundo interior. Este es un problema para el cual los autores nos ofrecen una solución dialéctica: es posible concebir las operaciones del sistema nervioso como autónomas, es decir, que son capaces de especificar sus propios elementos, relaciones y características a partir de las cuales construye esquemas de percepción y acción, y al mismo tiempo podemos dar cuenta de que para que esto ocurra es necesaria la interacción del sistema con su entorno. Por lo tanto ni hay puras representaciones, ni tampoco hay mero solipsismo en los procesos generadores de conocimiento. Sin embargo las descripciones que hacemos del mundo dicen más del observador (revela sus expectativas) que del objeto observado. (Maturana y Varela; 1984, 89-108)

Nuestra actividad de observación y descripción está moldeada por nuestra actividad biológica y social y por lo tanto, ambas son generadoras del fenómeno del conocer. Un ejemplo de ello es la percepción del color. Debemos dejar de pensar-sostienen nuestros autores- que el color de los objetos está determinado por las características de la luz que nos llega de ellos, depende más bien de la configuración y de los estados de actividad que la estructura de nuestro sistema nervioso determina. Por ello, es más plausible relacionar los colores con la actividad neuronal que con las longitudes de onda del espectro de la luz visible. La actividad neuronal que estimulan las distintas perturbaciones del ambiente está determinada por la estructura individual del sujeto observador y no por las características del agente perturbante, afirman nuestros autores:

“No vemos el espacio del mundo, vivimos nuestro campo visual, no vemos los colores del mundo, vivimos nuestro espacio cromático (...) cuando examinamos más de cerca cómo es que llegamos a

conocer ese mundo, siempre nos encontramos con que no podemos separar nuestra historia de acciones-biológicas y sociales- de cómo nos aparece ese mundo” (Maturana y Varela; 1984:10)

Cuando analizamos el proceso del conocer humano, no podemos considerar la existencia de “hechos” u “objetos” allá afuera esperando ser descubiertos o descifrados, y que una vez observados son “captados” y “procesados” por nuestros cerebros. La experiencia que tenemos del mundo es validada de una manera particular por la estructura humana que hace posible aquello percibido y que surge en la descripción, es decir, en el fenómeno de conocimiento nosotros como constructores y observadores posibilitamos la existencia del fenómeno descrito (Maturana y Varela; 1984, 11).

La aportación más importante de nuestro sistema nervioso –de acuerdo con nuestros autores– es que nos permite ampliar el número de estados posibles de interacción (diversidad de configuraciones sensomotoras) con el ambiente debido a su dimensión de plasticidad estructural. La historia de las interacciones de un organismo con su ambiente resulta también en una transformación estructural del propio organismo con respecto a su estructura inicial, pero ésta no sería posible sin la plasticidad neuronal con la que cuenta nuestro sistema nervioso (Maturana y Varela; 1984, 105).

La postura epistémica de Maturana y Varela es que el sistema nervioso se define por su organización clausurada operacionalmente. Esto quiere decir que en su operar mantiene constantes ciertas relaciones específicas entre sus componentes (invariantes) a pesar de las continuas perturbaciones que se generan como resultado de su interacción con el medio o con su dinámica interna. Esto quiere decir que el sistema nervioso opera como una red cerrada de cambios de relaciones de actividad entre sus componentes (Maturana y Varela; 1984:111). Pensar que las perturbaciones externas son las determinantes en la función del sistema nervioso es lo contrario a concebir a éste como clausurado operacionalmente.

El sistema nervioso, para concluir, no capta información como suele pensarse, sino que construye el mundo ya que selecciona o especifica qué configuraciones son perturbaciones y qué tipo de cambios motivan éstas en el organismo. (Maturana y Varela; 1984:113)

2.6.1 Conceptos fundamentales

Una vez que hemos realizado una breve síntesis de las funciones del sistema nervioso en el proceso de construcción de conocimiento es necesario hacer una revisión de conceptos que nos irán esclareciendo mejor las implicaciones de la teoría de Maturana y Varela en las teorías sobre el conocimiento y en los procesos bio-psico-socio-culturales que intervienen en la construcción de éste.

2.6.2 El conocimiento como fenómeno social

Para nuestros autores el conocimiento es un fenómeno social porque se construye a partir de la acción colectiva que es posible coordinar a través del lenguaje. Un fenómeno social está caracterizado por la existencia de acoplamiento estructural entre individuos y como observadores somos capaces de describir una conducta coordinada y recíproca entre ellos. (Maturana y Varela; 1984:128).

El aprendizaje es el proceso fundamental de la sociedad, este es un proceso que es necesario conocer si se aspira a comprender cómo es posible la formación de las sociedades como conjuntos y cuáles son los roles individuales que los sujetos asumen dentro de ellas. El aprendizaje se da en un contexto comunicativo y se designa como comunicación a la mutua estimulación de conductas coordinadas entre individuos que forman parte de sistemas sociales. En la comunicación no hay información transmitida que instruya a los sujetos o determine sus acciones:

“(…) cada persona dice lo que dice u oye lo que oye según su propia determinación estructural. Desde la perspectiva de un observador, siempre hay ambigüedad en una interacción comunicativa. El fenómeno de la comunicación no depende de lo que se entrega, sino de lo que pasa con el que recibe”
(Maturana y Varela; 1984: 130)

La pretensión de validez universal del conocimiento científico es errada ya que todas las explicaciones están construidas desde un lenguaje particular y el lenguaje siempre es generado por una cultura particular y por lo tanto tiene características específicas y variaciones de acuerdo al contenido de la cultura que lo produzca. (Maturana y Varela; 1984:133).

Las reflexiones, desde esta perspectiva, son constructivas, “traen un mundo a la mano” y siempre son hechas por “alguien particular en un lugar particular”. Si no somos capaces de incluir los contextos en nuestros análisis sobre el conocimiento no podremos visualizar, recrear o reconstruir el proceso por el cual se construye un tipo de conocimiento científico en particular, y por lo tanto no podremos señalar sus limitaciones o sus puntos ciegos. (Maturana y Varela; 1984:135).

Hasta aquí hemos podido comprender por qué el conocimiento y el aprendizaje son fenómenos sociales y cuáles son los obstáculos que nos impiden generar explicaciones satisfactorias sobre el fenómeno de aprendizaje social. Ahora entraremos de lleno al análisis del fenómeno por el cual el conocimiento adquiere su carácter social: el lenguaje.

Las conductas comunicativas son aquellas que se dan en un contexto de acoplamiento estructural entre individuos que comparten un código de sentido; la comunicación por otro lado, es la coordinación conductual que observamos como resultado de la operatividad de éstas. Las conductas comunicativas que adquieren estabilidad a través de generaciones de sujetos en un medio social específico, se denominan conductas culturales, éstas son definidas por nuestros autores como “la estabilidad transgeneracional de configuraciones conductuales adquiridas ontogénicamente¹⁰ en la dinámica comunicativa de un medio social” (Maturana y Varela; 1984:137).

Los sistemas sociales también generan acoplamientos estructurales interpersonales a través del lenguaje, las interacciones recurrentes que permiten coordinar acciones y que generan sentidos y significados compartidos hacen posible la estabilización, la coherencia y las regularidades internas que configuran una cultura particular. Y esto es así porque las palabras son acciones y no solamente abstracciones ya que configuran conductas. Sin embargo estas regularidades son aleatorias y dinámicas, no hay nada que nos garantice la estabilidad absoluta de un fenómeno que pretendemos describir debido a que no existe ningún punto de referencia independiente de nosotros que oriente nuestras autodescripciones. Por lo tanto, las experiencias sociales son una mezcla de regularidad y mutabilidad, de transformación y permanencia que las ciencias sociales deben integrar para tener una visión de la sociedad

¹⁰ es decir en la historia de las interacciones de los sujetos con su entorno, -que son precisamente, otros sujetos- que han motivado transformaciones en ellos.

como un proceso en constante transformación pero con un margen de estabilidad dinámica. (Maturana y Varela; 1984:142).

El mundo que vivimos lo especificamos en conjunto a través de nuestras acciones, la forma en la que describimos el mundo es el resultado de estas acciones en conjunto que cobran sentido en el lenguaje. La conciencia y la mente son el resultado de nuestras interacciones sociales recurrentes y del acoplamiento social que opera en nuestras actividades cotidianas, “es la red de interacciones lingüísticas la que nos hace lo que somos” afirman nuestros autores y lo manifiestan de la siguiente manera:

“El lenguaje no fue nunca inventado por un sujeto solo en la aprehensión de un mundo externo, y no puede, por lo tanto, ser usado como herramienta para revelar un tal mundo. Por el contrario, dentro del lenguaje mismo el acto de conocer, en la coordinación conductual que el lenguaje es, trae un mundo a la mano. Nos realizamos en un mutuo acoplamiento lingüístico, no porque el lenguaje nos permita decir lo que somos, sino porque somos en el lenguaje, en un continuo ser en los mundos lingüísticos y semánticos que traemos a la mano con otros. Nos encontramos a nosotros mismos en este acoplamiento, no como el origen de una referencia ni en referencia a un origen, sino como modo de continua transformación en el devenir del mundo lingüístico que construimos con los otros seres humanos”. (Maturana y Varela; 1985:155)

2.6.3 Explicación científica

Los autores enumeran una serie de condiciones que deben ser satisfechas en la proposición de una explicación científica:

1. Descripción del o los fenómenos a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores. Esta primera proposición es acorde a la propuesta de Kuhn (1962), quien denomina comunidad científica a aquellos que establecen qué tipo de problemas pueden plantearse y que preguntas son preguntables de acuerdo al paradigma dominante en un momento histórico determinado; en el caso de Rolando García (2000) esta situación se describe en el concepto de Marco Epistémico.
2. Proposición de un sistema conceptual capaz de generar el fenómeno a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores. Este tipo de explicación corresponde a lo que se ha denominado como hipótesis explicativa.

3. Deducción (a partir de la hipótesis explicativa) de otros fenómenos no considerados explícitamente en su proposición, así como la descripción de sus condiciones de observación en la comunidad de observadores.
4. Observación de otros fenómenos deducidos a partir de la hipótesis explicativa. (Maturana y Varela; 1984, 18)

2.6.4 Tautología cognoscitiva

Comenzaremos por definir lo que nuestros autores llaman tautología cognoscitiva, y es que este concepto nos permitirá entender mejor las implicaciones que tiene la clausura operacional del sistema nervioso en el conocimiento humano. (Maturana y Varela; 1984, XI)

Las experiencias y percepciones que tiene el ser humano sobre el mundo sólo pueden ser explicadas desde una perspectiva independiente de ese mundo ya que no tenemos ningún punto de referencia que nos permita contrastar nuestros esquemas perceptivos y valorativos con los de la realidad en sí, por lo tanto todo lo que conocemos es sólo producto de nuestras posibilidades biológicas y de nuestras acciones sociales y culturales. No es posible tener un criterio de validez independiente de nosotros mismos. Por ello, el conocimiento tiene una naturaleza circular con respecto a nosotros mismos, es por lo tanto, *autoreferente*, es decir que cuando conocemos el mundo, y cuando conocemos cómo conocemos al mundo, esencialmente nos conocemos a nosotros mismos. A este fenómeno Maturana lo llama Tautología cognoscitiva (Maturana y Varela; 1984: XI).

2.6.5 Distinciones y unidades

Al igual que Piaget, para Maturana y Varela el conocimiento proviene de la acción. Para nuestros autores “todo conocer es un hacer por el que conoce y todo conocer depende de la estructura del que conoce”. Este conocer está ligado a la capacidad que tenemos de generar distinciones que nos permiten separar lo señalado como distinto de un fondo. Este acto cognoscitivo aparece cada vez que hacemos referencia a algo y de esta manera especificamos –implícita o explícitamente- un criterio de distinción que nos permite especificar las propiedades de lo señalado (objeto/sujeto cognoscible). (Maturana y Varela; 1984: 7).

2.6.6 Organización y Estructura

El objetivo principal de esta propuesta es esclarecer los mecanismos que nos permitan explicar los fenómenos de comunicación, aprendizaje social y evolución cultural como parte del sistema social y para poder lograr esta empresa es necesario conocer la *organización* y la *estructura* del sistema social particular al que se haga referencia. La organización de un sistema consiste en las relaciones que existen entre los componentes que permiten que el sistema se defina como tal, es decir, de la capacidad de diferenciarse del entorno; mientras que la estructura hace referencia tanto a las propiedades de los componentes como a las relaciones que permiten que el sistema se realice como una unidad particular. (Maturana y Varela: 1984, 22)

El tipo de organización de los seres vivos, de acuerdo a nuestros autores, es la autoorganización, es decir, la capacidad que tienen los sistemas vivientes de producirse continuamente a sí mismos, en donde evidentemente, no hay separación entre productor y producto por lo que “el ser y el hacer de una unidad son inseparables” (Maturana y Varela; 1984:25-29).

2.6.7 Autopoiesis

Este concepto está totalmente relacionado con la noción de autoorganización. Todos los seres vivos son sistemas autopoieticos, es decir, que tienen la capacidad de diferenciarse del entorno a través del establecimiento de límites operacionales que mantienen autónomos -con respecto al medio- todos los procesos internos que se llevan a cabo dentro del sistema. (Maturana y Varela; 1984: 30)

Las unidades autopoieticas dependen enteramente de su organización, es decir, qué tipo de relaciones establecen al interior y al exterior del sistema que les permita especificar lo que es propio de ellos, y no dependen por lo tanto, de las características físicas de sus componentes aislados que sólo constituyen su materialidad y su espacio de existencia (Maturana y Varela;1984:32)

Este concepto adquiere importancia para la reflexión epistemológica que aquí se esboza debido a que parte de la consideración de que los seres vivos se autoorganizan pero dicha

tarea depende de las relaciones que establecen entre sus elementos y con el medio. Si asumimos este axioma es posible vislumbrar la limitación inherente que surge de la postura de la biotecnología que considera a los genes de manera aislada y los inserta en un contexto totalmente distinto esperando que su funcionamiento siga siendo el mismo.

2.6.8 Acoplamiento estructural

Este concepto hace referencia a las interacciones recurrentes que establecen dos o más unidades autopoieticas, estas interacciones constantes entre una unidad y su medio constituirán perturbaciones recíprocas, sin embargo, éstas no harán más que estimular los cambios estructurales, transformaciones o cambios de estado de las unidades perturbadas, de modo que el resultado será una “historia de mutuos cambios estructurales concordantes” que se mantendrán siempre y cuando no se desintegren las unidades. Los cambios son necesarios para que el sistema vivo conserve su autopoiesis ya que todos los sistemas son dinámicos (Maturana y Varela: 1984, 35).

El acoplamiento estructural entre sistema y entorno implica que entre ambos exista una relación de compatibilidad o conmensurabilidad en donde ambos conservan su autopoiesis, de lo contrario, las interacciones son de carácter destructivo-como el tipo de relaciones que mantiene las sociedades industrializadas con el medio ambiente-. (Maturana y Varela; 1984:37).

2.6.9 Clausura operacional

Este concepto hace referencia a una característica organizacional de los seres vivos en donde todos los procesos dinámicos que especifican su identidad forman una red cerrada con respecto al entorno. Este concepto no se podría entender sin tener clara la noción de clausura operacional, ya que es aquí en donde se especifica el carácter de estímulo -no de determinación ni de instrucción- que tienen las perturbaciones, por lo que las operaciones de selección de información/estímulo y las transformaciones, procesos o cambios de estados consecuentes son operaciones esencialmente internas. (Maturana y Varela; 1984:42).

Es importante aclarar que el hecho de que la clausura operacional esté representada como una red cerrada no es por ello estática, el adjetivo “cerrado” hace alusión únicamente a los

cambios en las relaciones operativas (de actividad) de los componentes de un sistema, ello no quiere decir que el sistema esté “cerrado” con respecto al entorno sino sólo las actividades que se derivan de su interacción con él (Maturana y Varela; 1984:45).

En resumen, la propuesta de Maturana y Varela hace énfasis en el carácter constructivo del conocimiento humano al explicar de qué manera opera nuestro sistema nervioso a través del concepto de clausura operacional, esta postura concuerda con la que nos proponen García y Piaget quienes consideran que el conocimiento no se produce a través de percepciones u observaciones y que éstas no son una simple copia de la realidad sino que son construidas por los sujetos de acuerdo a sus características fisiológicas, psicológicas y sociales. Ambos concuerdan en que la naturaleza del conocimiento es heterogénea e interactuante, conclusiones que corresponden a la propuesta sistémica que reseñaremos brevemente a continuación.

2.7 La perspectiva de la Teoría general de los sistemas de Ludwig Von Bertalanffy

La visión mecanicista del mundo, al tomar como realidad última el juego de las partículas físicas, halló expresión en una civilización que glorifica la tecnología física conducente a fin de cuentas a las catástrofes de nuestro tiempo. Posiblemente el modelo del mundo como una gran organización ayude a reforzar el sentido de reverencia hacia lo viviente que casi hemos perdido en las últimas y sanguinarias décadas de la historia humana.

L. V. Bertalanffy

La pertinencia del enfoque sistémico para la reflexión epistemológica que aquí se esboza radica en que esta visión nos permite cambiar el enfoque desde el cual se observa al objeto de estudio. Si consideramos como elemental en el análisis las relaciones entre dos o más elementos que componen un fenómeno en lugar de estudiarlas de forma aislada tendremos una perspectiva distinta del mismo. Esta propuesta es parte fundamental de la perspectiva de García y Piaget pues ellos también le otorgan preminencia a las relaciones por encima de las propiedades de los objetos.

2.7.1 Breve historia del pensamiento sistémico

La perspectiva sistémica supuso una reorientación de la ciencia. Sin embargo, el pensamiento sistémico no es privativo de ésta, diversos sistemas filosóficos milenarios (griegos, hindús, chinos, etc.) ya tenían una concepción sistémica del mundo. Por ejemplo en la Grecia antigua Anaxágoras y Empédocles concibieron la noción de pluralismo, que sostiene que múltiples elementos no son reducibles los unos a los otros. El concepto de Karma en la filosofía Hindú es otro ejemplo de filosofía sistémica ya que implica que todo está relacionado y que nada existe por sí solo. De la misma manera, en la filosofía china, Zou Yang creó el concepto de Yin Yang que se refiere a la complementariedad de los opuestos, idea central del Taoísmo o el concepto de Tantra que en Sánscrito significa tejido. (Gershenson; 2016)

Dentro del campo científico, el pensamiento sistémico fue propuesto por Ludwig Von Bertalanffy en 1968 en su *Teoría General de Sistemas*, pero ya desde principios de los años treinta pugró por una visión sistémica en torno a la biología. Hizo un llamado a superar el paradigma mecanicista en biología y apeló por una concepción organismica en donde los seres vivos fueran considerados como sistemas (elementos en interacción) y para que el objetivo de la investigación científica en este campo se enfocara al descubrimiento de los principios de organización de los distintos niveles que presentan los seres vivos. (Bertalanffy; 1976, 31)

Un aporte fundamental provino de la cibernética de segundo orden. Desarrollada por Heinz Von Foerster indaga la forma en la que los observadores construyen esquemas mentales sobre los sistemas que se observan y con los que interactúan, y establece que no es posible separar a los observadores de los sistemas que están describiendo y por ello es necesaria una permanente retroalimentación entre el observador y lo observado así como dentro de la observación misma. (Bertalanffy; 1976, 167)

Esta propuesta surge en contraposición a la perspectiva mecanicista que se exportó de la física clásica del siglo XIX hacia otras disciplinas científicas, esta visión está basada en la creencia de que el universo material e incluso mental, está formado por átomos regidos por las leyes de la causalidad. En esta visión del mundo, los organismos son producto del azar y de la selección natural y la mente o la conciencia un fenómeno improbable e incongruente con la experiencia empírica. En un mundo así pareciera que la única alternativa es dividir la realidad en unidades elementales cada vez más pequeñas. En física por ejemplo, la realidad

está compuesta por átomos, o por partículas subatómicas como el electrón, protón y neutrón o todavía más pequeños, los cuarks. En biología, los organismos vivos están compuestos por células o más pequeños aún, los genes; el comportamiento se podía explicar por reflejos y la percepción por la irritación de las terminaciones nerviosas. (Bertalanffy; 1976, 37)

De esta manera, Bertalanffy afirma que, a la luz de la historia, la tecnología e incluso la sociedad es una imagen fisicalista del mundo, la física sigue siendo el parangón de la ciencia y de nuestra imagen del hombre, afirma. (Bertalanffy; 1976, 45)

2.7.2 Principales aportaciones de la teoría de sistemas

Por otra parte, la teoría general de los sistemas es una propuesta que nos invita a centrarnos en las relaciones y no en las propiedades aisladas. De aquí la importancia de retomar esta perspectiva cuando hablamos de la perspectiva constructivista de García y Piaget, pues su propuesta retoma de la perspectiva sistémica el énfasis en las relaciones a la hora de construir conocimiento. Asimismo rescataremos una serie de elementos conceptuales que nos permiten definir y delimitar el tipo de relaciones que se pretende analizar.

Por interacción entendemos, de acuerdo con Bertalanffy (1976,55):

“Interacción significa que elementos, p , están en relaciones, R , de suerte que el comportamiento de un elemento, p en R es diferente de su comportamiento en otra relación R' . Si los comportamientos en R y R' no difieren, no hay interacción y los elementos se comportan independientemente con respecto a las relaciones R y R' .”

Los conjuntos de elementos que conforman los sistemas pueden ser de dos clases: sumativos o constitutivos. De acuerdo con Bertalanffy (1976, 68) las características sumativas de un elemento son aquellas que son las mismas dentro y fuera del complejo, se obtienen por suma de características y comportamiento de elementos tal como son conocidos aislados. Las características constitutivas, por su parte, son las que dependen de las relaciones específicas que se dan dentro del conjunto; para entender tales características tenemos que conocer no sólo las partes sino también las relaciones. Los mecanismos diseñados por los seres humanos son ejemplos del primer caso mientras que todos los organismos vivos son del segundo tipo.

Las características constitutivas, siguiendo al autor, no son explicables a partir de las características de partes aisladas. De esta manera, las características del conjunto o complejo, aparecen como nuevas o emergentes.

Existen a su vez, dos tipos de sistemas: abiertos y cerrados. Los segundos carecen de interacción con el medio o la tienen en mínimas proporciones¹¹, mientras que los sistemas abiertos se caracterizan por el constante intercambio de materia/energía/información con el entorno. Todos los organismos vivos son de este tipo, los sistemas sociales también. Bertalanffy (1976, 71) señala que todo sistema vivo es abierto ya que “se mantiene en continua incorporación y eliminación de materia, constituyendo y demoliendo componentes, sin alcanzar, mientras viva, un estado de equilibrio (...) sino manteniéndose en un estado llamado uniforme”. Para los sistemas sociales podemos mantener dicha caracterización sólo que en lugar de materia, se incorporan, eliminan e intercambian símbolos. Los sistemas abiertos están basados en la interacción dinámica entre sus componentes. Todos los sistemas abiertos son dinámicos, es decir, presentan cambios en el tiempo.

En este mismo sentido, tenemos el concepto de *emergencia*. Este surge, de acuerdo con Gershenson, (2014) “cuando los componentes de un sistema producen nueva información al interactuar”, este concepto está asociado al de retroalimentación positiva ya que permite generar cambios, mismos que pueden producir nueva información y nuevas *emergencias*.

Asimismo, tenemos el concepto de autoorganización, definido como “habilidad de un sistema de implementar su orden (*u organización*) por medio de las interacciones de sus componentes” (Gensherson; 2014). De acuerdo con este autor, la autoorganización está relacionada con la retroalimentación negativa ya que permite que la organización de una estructura se mantenga estable. De esta manera, podemos observar, siguiendo al autor, que la *emergencia* genera novedad mientras que la autoorganización genera estructura.

¹¹ En virtud de que este tipo de sistemas son muy poco comunes dentro de las ramas de investigación científica que analizamos en este trabajo, no dedicaremos mayor amplitud a su desarrollo.

Es necesario un balance o equilibrio entre *emergencia* y autoorganización ya que si un sistema tuviera una estructura no dinámica o determinada, no podría haber evolución, adaptación o aprendizaje. Y si por el contrario, sólo presentará *emergencias*, sería imposible mantener ciertos patrones que caracterizan a todo lo vivo, y por lo tanto no sería posible observar/construir características, propiedades o funciones *del* mundo; no podríamos hacer descripciones ni establecer relaciones, no podríamos comprender/explicar y consecuentemente ningún tipo de conocimiento sería posible. (Gensherson; 2014)

En síntesis, los cinco autores que abarcamos de manera somera en este trabajo forman parte de una nueva corriente de interpretación epistemológica denominada constructivismo y un modelo teórico y metodológico denominado –en términos generales- complejidad. El constructivismo surge como un nuevo paradigma que intenta resolver la pugna entre el apriorismo y el empirismo, le otorga al sujeto un papel fundamental dentro de la construcción de conocimiento pero sin soslayar la importancia del propio objeto y sus características dinámicas. El constructivismo al que se suscribe Piaget, García, Maturana y Varela tiene como referente esencial a la Teoría General de los sistemas de Ludwig Von Bertalanffy ya que la perspectiva sistémica otorga el fundamento epistémico del constructivismo y de la complejidad: la idea de que el todo es diferente a la suma de las partes debido a la importancia de las relaciones entre éstas (Brum, 2011).

El eje principal a través del cual podemos establecer un puente relacional entre los autores es que proponen una nueva forma de abordar el problema epistemológico fundamental: ¿qué conocemos? Y ¿cómo conocemos? La propuesta de Rolando García y Piaget sugiere que el conocimiento es el resultado de la interacción entre las determinaciones del sujeto y las determinaciones del objeto. De manera similar Maturana y Varela afirman que todo conocer tiene implícita una acción por parte del sujeto sobre el objeto, un sujeto con características fisiológicas, psicológicas, sociales y culturales específicas que orientan su forma de conocer. Por su parte la teoría de sistemas propone superar las visiones mecanicistas, reduccionistas y teleológicas que imperan a la hora de construir conocimiento sobre la naturaleza o la sociedad. En lugar de ello se proponen abordar los objetos cognoscibles como sistemas es decir como conjuntos de elementos en interacción.

De esta manera el constructivismo y la teoría de sistemas suponen el abordaje de antiguas cuestiones (¿Qué es el conocimiento y cómo se obtiene?; ¿Cuál es el papel del sujeto en la construcción del conocimiento? ¿Qué es la realidad?) con una nueva perspectiva de análisis.

Entre los ejes comunes que podemos encontrar en los autores se encuentra:

- a) La consideración de que el individuo que produce conocimiento nunca se encuentra aislado sino que tiene como referente a la sociedad en la cual está inserto.
- b) El conocimiento es el resultado de la interacción dialéctica entre el sujeto y los objetos.
- c) La acción es el principal componente del conocimiento, por lo tanto ni el objeto cognoscible ni el sujeto cognoscente tienen papeles pasivos o meramente receptivos.
- d) Los sujetos cognoscentes, al igual que todos los seres vivos son sistemas abiertos es decir que intercambian materia, información o símbolos con el medio y necesitan de estas interacciones para sobrevivir.
- e) El medio, la naturaleza, el mundo y en general todos los objetos cognoscibles no son estáticos sino dinámicos, es decir, se transforman continuamente a causa de sus interacciones, por lo tanto, las teorías deben dar cuenta de dichas transformaciones.
- f) Los fenómenos observables están integrados por elementos heterogéneos y su funcionamiento depende de las relaciones que establecen entre sí y las *emergencias* que de éstas surgen.

Mientras que García y Piaget nos presentan una propuesta epistemológica que analiza los mecanismos de construcción de conocimiento en distintos momentos y niveles en los cuales se van reconfigurando percepciones y reconceptualizaciones a través de la interacción dialéctica sujeto/objeto, Maturana y Varela nos muestran de qué manera esta interacción opera a un nivel biológico, ya que como se ha mencionado continuamente, el conocimiento es caracterizado como un sistema complejo cuyos elementos indisociables y en interacción se configuran en tres distintos niveles: biológico, psicológico y social. Si bien se trata de manera demasiado breve en este trabajo y se da un énfasis predominante al componente social debido a la naturaleza de este trabajo, es importante destacar que es del análisis integrado de los tres factores de donde surge la explicación epistemológica en el sentido que proponen Piaget y García.

Otra de las razones que da sentido a la integración de estos autores es que sus propuestas (constructivista y sistémica) convergen en la perspectiva de la complejidad en general y en la teoría de Sistemas Complejos de García en particular.

Para Piaget y García (2000, 2006) el estudio de la construcción del conocimiento puede analizarse desde una perspectiva sistémica compleja en donde se da énfasis a la interacción entre elementos heterogéneos que componen una totalidad relativa. La complejidad es una perspectiva que tiene distintas corrientes dos de ellas son el Pensamiento Complejo encabezado por Morín y las Ciencias de la complejidad cuyo enfoque se concentra en la modelación computacional. Ambas tienen en común la propuesta de observar al mundo a través de sus conexiones, es decir, establecer relaciones entre los distintos elementos que conforman un fenómeno que nos permitan comprender sus procesos de transformación emergentes. *Emergencia* significa constitución de distinciones previamente inexistentes (Navarro; 2004: 16).

Las bases epistemológicas, teóricas y metodológicas del Pensamiento complejo, de las ciencias de la complejidad y la teoría de sistemas complejos tienen como base el pensamiento sistémico cuyo precursor es precisamente Von Bertalanffy. Esta propuesta representa un cambio con respecto a la ciencia clásica, por ésta me refiero a la proveniente de la modernidad, aquella que surge una vez que la humanidad salió de la edad media y atravesó por el renacimiento.

La ciencia a lo largo de su historia ha tratado de explicar los fenómenos observables reduciéndolos a sus componentes elementales y analizándolos de manera aislada, independientes unos de otros. La teoría de sistemas traza un nuevo camino y busca explicar los fenómenos analizando su organización, no sólo sus componentes sino como estos interactúan entre sí y con el entorno. Para esta perspectiva no es posible comprender un fenómeno estudiando sus partes aisladamente. Esta perspectiva ha surgido en diferentes dominios científicos: física, biología, sociología, etc., y supone un cambio general de actitud y de las concepciones científicas y supone también una nueva visión del mundo: el mundo como organización.

Aunque es importante aclarar que de esta postura no implica en lo absoluto desdeñar o ignorar a las disciplinas, sin éstas la perspectiva sistémica no tendría sentido, se requieren las disciplinas para poder integrar perspectivas de otro modo la teoría operaría en el vacío. Las disciplinas son esenciales para el análisis sistémico pero no suficientes, además de distinción se requiere integración.

Entonces la propuesta de Rolando García, Piaget, Maturana y Varela se relacionan en tanto asumen la perspectiva constructivista del conocimiento que supone que éste no surge ni del sujeto ni del objeto sino de la interacción de ambos, mientras que la perspectiva sistémica se relaciona con ambas debido a que considera la interacción como componente fundamental en el análisis de los objetos cognoscentes o los fenómenos que la ciencia busca comprender. Aunque también es importante aclarar que esta propuesta no se reduce a la sentencia “todo se relaciona con todo”, no todos los problemas, fenómenos u objetos de estudio tienen que tener una perspectiva sistémica, aquellas disciplinas que estudian aspectos estrechos de la realidad no requieren un enfoque de sistemas. Pero en el caso que nos ocupa sí es necesario ya que interfieren elementos de distinta naturaleza: biológicos, cognitivos y sociales.

Finalmente, la perspectiva constructivista y la teoría de sistemas se condensan en la propuesta teórico-metodológica de los Sistemas Complejos de Rolando García que expondremos a continuación.

CAPÍTULO III

En este capítulo presentaremos la estrategia metodológica para el análisis del discurso científico. Esta estrategia corresponde a la propuesta de Rolando García denominada sistemas complejos. Cabe destacar que la teoría de los sistemas complejos es una propuesta epistémica, teórica y metodológica que nos permite analizar un fenómeno (el discurso científico en torno a los OGM) de manera integral, es decir como resultado de la conjunción de elementos heterogéneos e interdependientes: biológicos, cognitivos y sociales. De esta manera la reflexión que aquí esbozamos tiene estos tres componentes, hacemos un recuento de las discusiones en un nivel propiamente teórico (desde la filosofía de la biología) que nos proponen tres de nuestros autores: Maturana, Varela y Bertalanffy (además de las discusiones en este sentido que hemos descrito en el capítulo I). El componente cognitivo-social lo analizamos con la propuesta del propio García y Piaget y con la categoría de Campo Cognoscitivo desarrollada por el Dr. Amozurrutia. Por otra parte el componente social está ligado al cognitivo puesto que, como se ha sostenido en todo el trabajo, el conocimiento es un fenómeno social a través del cual se construyen sentidos, significados y marcos epistémicos que orientan a la investigación científica, de aquí se deriva la importancia del aspecto cognitivo dentro de los estudios sociales de la ciencia.

Es importante mencionar que la estrategia metodológica que nos propone García es esencialmente interdisciplinaria, es decir que requiere de un equipo multidisciplinario para realizar una reflexión integrada de distintos dominios del saber. Sin embargo este trabajo no pudo realizarse con un equipo de investigación por lo que constituye solo un esbozo exploratorio para un estudio que debe continuar.

3.1 Construcción de un sistema complejo para el análisis de la biotecnología

Esta propuesta desarrollada por Rolando García (2006) retoma las aportaciones teóricas de la epistemología genética para construir una metodología de investigación para el estudio de problemas multifactoriales que involucra a la sociedad.

El adjetivo *complejidad* para García hace referencia a la imposibilidad de analizar aspectos particulares de un fenómeno, proceso o situación a partir de una sola disciplina. En el mundo

real, afirma el autor, las situaciones y los procesos, definidos como concatenación de eventos que se dan en el tiempo, no ocurren de manera que puedan ser clasificados por su correspondencia a alguna disciplina en particular. La realidad en este sentido, es compleja, afirma García (2006,73)

Un sistema complejo, en palabras del autor, es una representación de un recorte de una realidad compleja, el cual es conceptualizado como una totalidad organizada en la cual los elementos no son separables y no pueden ser estudiados aisladamente. Los sistemas complejos están constituidos por elementos heterogéneos en interacción. Cada elemento heterogéneo es un sistema en sí mismo por lo cual constituye un subsistema del sistema total y cada subsistema es susceptible de ser analizado por diversas disciplinas. (García, 2006, 21)

Un sistema complejo es esencialmente una construcción conceptual del investigador, no está dado en el punto de partida de la investigación, puede modificarse en función del desarrollo de la misma. Esta afirmación tiene un carácter eminentemente antiempírico ya que rechaza que los sistemas estén insertos dentro de una realidad ontológica, determinada a priori, o que sean resultado de la experiencia directa de un observador “neutro”; por el contrario, se asume que todo lo planteado en una propuesta sistémica compleja es una construcción teórica de la que se tiene que hacer responsable el investigador. (García, 2006, 22)

3.1.2 Componentes de un sistema complejo

La investigación de sistemas complejos, de acuerdo con García (2006, 47) implica estudiar fragmentos de la realidad en los que están involucrados aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos.

La construcción de un sistema complejo está definida por el marco epistémico que establece la pregunta o el conjunto de preguntas que serán el punto de partida de la investigación y servirá para guiar la selección de los elementos que integrarán el sistema, el tipo de relaciones que establecen entre sí y con el entorno así como los límites del mismo. (García, 2006, 48)

Una vez que se han definido los límites del sistema, es de vital importancia considerar las interacciones entre lo que queda “dentro” y lo que queda “fuera” del sistema, mismas que constituirán influencias recíprocas sobre el proceso de desarrollo del sistema y del entorno.

A estas interacciones y las *emergencias* que de ellas derivan, García las denomina *condiciones de contorno*, que se manifiestan a través de lo que denomino *flujos* que pueden estar constituidos de materia, energía o información. (García, 2006, 49)

Los elementos del sistema, por su parte, son *interdefinibles*. Esto quiere decir que no son independientes sino que se determinan mutuamente. Estructurar un sistema significa elegir aquellas interacciones que son más significativas. La estructura del sistema está determinada por las relaciones entre elementos (y no por los elementos en sí), que son también sistemas dentro de un sistema que los contiene y son denominados subsistemas. (García, 2006, 52)

Este énfasis en las estructuras, aclara García (2006, 55) no significa caer en posturas estructuralistas que consideran a la estructura como determinada y estática. Desde esta postura, las estructuras son dinámicas y tienen historia, es decir, experimentan cambios a lo largo del tiempo a través de procesos de desestructuración y reestructuración que tienen que ver con el tipo de interacciones con el entorno que pueden constituir cierto tipo de perturbaciones. El estudio de estructuras sistémicas, afirma el autor, es un estudio de procesos y no de estados.

En este sentido García define proceso como “cambio o serie de cambios que constituye el curso de acción de relaciones que se designan como causales entre eventos (naturales o producidos por la intervención humana). Estos procesos no son datos empíricamente dados ni son observables construidos a partir de la interpretación de los datos. Son relaciones establecidas sobre la base de inferencias”. (García; 2006: 138)

De acuerdo con García, para el estudio de los procesos dinámicos de un sistema existen tres niveles en el primer nivel se realiza un diagnóstico de carácter local que busca describir una situación delimitada espacial y temporalmente a través de observaciones, mediciones, encuestas o entrevistas. Estos datos son siempre interpretados a partir de un marco conceptual adecuado a la naturaleza del problema y a la elección del investigador. El segundo nivel corresponde a procesos más generales que rebasan el carácter local de la problemática y determinan los procesos del primer nivel, son denominados metaprocesos y generalmente son de carácter regional o nacional. Finalmente el tercer nivel de análisis corresponde a una escala nacional e internacional. Estos fenómenos determinan los procesos del segundo nivel,

pueden estar constituidos por políticas nacionales de desarrollo, modificaciones del mercado internacional, internacionalización de capitales, etc. Aunque en cada nivel hay dinámicas distintas y actores diferentes, los tres niveles están interrelacionados ya que los procesos de tercer nivel explican a los del segundo nivel y éstos explican al primer nivel. (García; 2006: 140)

Entre lo que García (2006, 80) denomina *principios característicos de los sistemas complejos* podemos encontrar en primer lugar, que este tipo de sistemas presentan una “disposición de sus elementos por niveles de organización con dinámicas propias pero interactuantes entre sí”. En segundo lugar tenemos que estos sistemas evolucionan, es decir se transforman en el tiempo, no por desarrollos continuos o lineales sino por sucesivas reorganizaciones. Desde esta perspectiva, es necesario poner énfasis en la evolución del sistema por sucesivas reorganizaciones, para ello es vital reconstruir la historia de las estructuraciones es decir, el tipo de transformaciones que ha experimentado y su relación con las propiedades sistémicas. Y es que de acuerdo con el autor, para conocer cabalmente el estado presente de un sistema es necesario conocer la historia de los procesos que lo condujeron a su organización actual. En ese sentido Piaget afirma que “no hay estructura sin historia ni historia sin estructura”. (García; 2006: 81)

3.1.3 Metodología de trabajo interdisciplinario.

El objetivo principal de esta estrategia metodológica es la integración de los elementos de análisis que provienen de tres fuentes:

- a) Del objeto de estudio (sistema complejo), esta problemática construida a partir de observables que funcionan como sistema, es decir no pueden ser separados o yuxtapuestos unos sobre otros los elementos heterogéneos que lo conforman, por lo tanto no puede ser observado desde una sola disciplina. Al analizar el objeto de estudio, el investigador básicamente identifica, selecciona y organiza los *datos* de la *realidad* desde un determinado marco conceptual.
- b) Del marco conceptual a partir del cual se observa el objeto de estudio. Es importante identificar la perspectiva desde la cual parte dicho bagaje teórico, para que de esta

manera tengamos perspectivas no reduccionistas en biología, no conductistas en psicología sino sistémicas en ciencias sociales¹².

- c) De los estudios disciplinarios de cada uno de los dominios (bio-psico-social) que logramos identificar y que utilizamos para construir nuestro sistema complejo. (García; 2006: 97)

Esta integración tiene como objetivo llegar a una formulación sistémica de la problemática original que presenta el objeto de estudio. A partir de allí, será posible lograr un diagnóstico que provea las bases para proponer acciones concretas y políticas generales alternativas que permitan influir sobre la evolución del sistema. (García, 2006: 94)

La reflexión epistemológica de la producción y consumo de alimentos transgénicos en México es analizado desde esta perspectiva como un problema complejo debido a que involucra una concatenación de eventos heterogéneos que no pueden ser analizados desde una disciplina en particular.

El recorte de la realidad que hemos configurado como sistema en esta investigación es ciertamente limitada, esta limitación obedece principalmente a los alcances que tienen una sola disciplina (y una sola persona) a la hora de enfrentar un problema complejo. En el caso de esta investigación ya he mencionado que me limito a una selección de comunicaciones científicas en torno al tema de los alimentos transgénicos, pero es necesario mencionar que la problemática incluye muchos más elementos heterogéneos en interacción, sin los cuales no es posible comprender/explicar el proceso a través del cual se ha configurado el conjunto de conocimientos y prácticas relacionados a la problemática en cuestión.

La razón por la que utilizo esta perspectiva es sobre todo para ejemplificar el tipo de reflexión epistemológica que es posible construir en torno al discurso científico de divulgación de los OGM en México, a la vez, compararla con las posturas que se limitan al análisis de los genes de manera aislada e independientemente de su interacción con otros genes y el resto de los elementos que configuran el entorno. Ya que de incluir los elementos en interacción entre sí

¹² Desde la perspectiva que asumimos en esta investigación (epistemología constructivista) se considera que es necesario enriquecer los paradigmas reduccionistas en biología y conductistas en psicología. El reduccionismo en biología por ejemplo, se ha limitado en analizar a los organismos independientemente de su entorno, mientras que la psicología conductista ha reducido al sujeto a un conjunto de estímulos-respuesta.

y con el ambiente, y además considerando que dichos elementos no son separables ni pueden ser estudiados aisladamente, la base teórica y metodológica de la ingeniería genética aplicada a la biotecnología agrícola podría transformarse.

Las interacciones que puedo esbozar sobre esta problemática son múltiples. Por un lado tenemos al sistema de la ciencia con características específicas: paradigmas, dogmas centrales, líneas de investigación, etc., este sistema científico interactúa con otro sistema que es económico, a través de empresas interesadas en el desarrollo de tecnología (a partir del conocimiento científico) para producir bienes comercializables. Ambos sistemas interactúan con otro sistema más que es el de la política, que se encargan de otorgar los permisos para la experimentación y siembra así como los lugares donde se han de efectuar. Hasta aquí podemos visualizar un nivel *macro*.

Los medios de comunicación que sirven de intermediarios de la sociedad (que es otro sistema). La sociedad, por otra parte, es un conjunto compuesto por los campesinos y los consumidores que tienen una relación conflictiva -algunas veces y otras de forma pasiva- con respecto a los otros sistemas. Los campesinos interactúan con el producto final (las semillas transgénicas) y con las empresas que implementan esta tecnología en sus comunidades —. Esta interacción es fundamentalmente económica pero también puede implicar un conflicto ya que empresas como Monsanto demandan legalmente a los campesinos que utilicen sus semillas para un nuevo ciclo de cultivo por lo que los campesinos deben comprar cada temporada nuevas semillas- Éste es un nivel *meso*. El nivel *micro* se puede observar al interior de las familias campesinas que se ven afectadas económicamente por no poder comprar el paquete tecnológico (semillas y pesticidas) y al tratar de sembrar de forma tradicional se dan cuenta que es imposible ya que el suelo ha perdido fertilidad debido a la agresividad de los pesticidas y a la aniquilación de fauna que habita en el suelo, vital para que la tierra adquiera nutrientes que la planta pueda aprovechar. También un nivel *micro* es esta interacción entre las plantas y la tierra, los insectos, lombrices, abejas, ciclos de lluvia, etc., que se ven afectados. La pérdida de biodiversidad hace vulnerables a los cultivos a las plagas y a condiciones climáticas adversas ya que no hay variación y sin variación no hay adaptación.

El sistema agroalimentario ha cambiado en el tiempo, su dinámica está caracterizada por la retroalimentación positiva¹³, En un primer momento la agricultura era local y de autoconsumo. Con la revolución verde se aumentó el nivel de producción (pero no así la distribución) y ahora con la introducción de la ingeniería genética, la agricultura tiene un cambio significativo cualitativa y cuantitativamente. La ciencia que ha posibilitado el desarrollo de este tipo de tecnología también se ha transformado en el tiempo, desde las técnicas rústicas de cruza de Mendel hasta la moderna tecnología recombinante.

El tipo de retroalimentación es relativo, ya que si lo vemos desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología, como se ha esbozado en el párrafo anterior, se puede comprobar un tipo positivo de retroalimentación, pero si lo vemos desde el punto de vista de los pequeños agricultores mexicanos vemos que el sistema agroalimentario se ha caracterizado por inhibir los cambios, ya que la situación económica y social que experimentan no ha cambiado mucho a lo largo de la historia de nuestro país, desde el despojo colonial pasando por los procesos de independencia y revolución y ni siquiera la tan mencionada “modernidad” han mejorado sustancialmente las condiciones del campo en México.

En la ciencia por su parte, es evidente que hay retroalimentación positiva aunque el esquema reduccionista es el imperante en biotecnología. Sin embargo hay propuestas que están optando por el pensamiento sistémico, la interdisciplina y el holismo en la ciencia¹⁴.

El problema del consumo de alimentos transgénicos puede ser analizado como un conjunto organizado con dimensiones físicas, biológicas, sociales, epistemológicas. Estas dimensiones están totalmente entrelazadas debido a que la comprensión/explicación que se pueda tener de las propiedades físicas y biológicas de los OGM depende de la construcción a un nivel epistemológico pero necesariamente estas dimensiones influyen al mismo tiempo en estas

¹³ Indica una cadena de relaciones causales en donde la variación de uno de sus componentes se propaga en otros componentes del sistema, reforzando la variación inicial. La retroalimentación positiva está asociada a los fenómenos de crecimiento y diferenciación, cuando se mantiene un sistema y se modifican su metas/fines. (Arnold. y Osorio, 1998)

¹⁴ El pensamiento sistémico consiste en acercarnos a la realidad considerándola como un todo, es decir, los elementos, las relaciones y el entorno en el cual se encuentran (Osorio, 2007). La interdisciplina supone la integración de diferentes enfoques disciplinarios, para lo cual es necesario que cada uno de los miembros de un equipo de investigación sea experto en su propia disciplina (García; 2006:33). El holismo en la ciencia propone entender las teorías científicas como redes de conceptos. Todas las proposiciones o nodos de la red están interrelacionadas, se apoyan mutuamente (Jaume, Glosario elemental de filosofía de la ciencia, Universidad de Salamanca).

concepciones, a su vez, estas propiedades se relacionan con la dimensión social toda vez que son las comunidades agrícolas las que configuran y construyen las características físicas y biológicas de las plantas en cuestión a través del proceso de domesticación, proceso en el que no sólo está la práctica del fitomejoramiento sino que viene acompañada de una serie de procesos y significaciones culturales. También están presentes los aspectos económicos en donde las empresas como Monsanto, Dupont, Syngenta, etc., tienen un papel predominante debido a su capacidad para incidir en los subsistemas político y científico a través del componente económico. Por último tenemos al componente político, que en el caso mexicano, considero que está totalmente subsumido por el componente económico ya que la actual administración así como la administración pasada han tenido el papel de abiertos defensores y promotores de la tecnología recombinante en el campo mexicano. Sin embargo, insisto que estas consideraciones no serán profundizadas debido al recorte que hemos realizado, pero quedan configuradas como condiciones de contorno y por lo tanto constituyen influencias recíprocas entre el sistema y el entorno.

El conjunto de preguntas que me hago en torno a este problema y que guían la investigación y la selección de los elementos que integra el sistema son:

- a) ¿Cuáles son las premisas y supuestos de los que parten los investigadores en biotecnología agrícola para producir conocimiento enfocado a la creación de OGM en México?
- b) ¿Cuál es el proceso histórico/social que permitió la generación de conocimiento aplicado a la creación de OGM?;
- c) ¿Qué mecanismos cognoscitivos utilizan los investigadores a favor de los OGM en México para construir sus argumentaciones?

El componente histórico es fundamental para entender la evolución del proceso, por ello he indagado en la historia de la construcción de conocimiento en biotecnología. Lo que más me interesa destacar es que la biología molecular es una disciplina en la que se aplicaron las técnicas y herramientas provenientes de la física, de manera que se ha llamado a este fenómeno la “colonización” de la biología por la física. La Fundación Rockefeller fue una de las fuentes de financiamiento más estables durante la transición de la biología clásica (organísmica) a la biología molecular entre 1930 y 1960.

Durante y después de la Segunda Guerra Mundial, el financiamiento no sólo provino de las empresas privadas sino también por parte de los gobiernos para servir a propósitos militares y otras necesidades asociadas a la guerra. La constitución de la biología molecular como nueva disciplina dependió de las configuraciones de poder y conocimiento de la física, la biología y los intereses político-militares. Es decir, la biología molecular nació en el contexto de la militarización-industrialización de la ciencia. (García Deister; 2010,70)

3.2 Revisión documental: identificación de mecanismos cognitivos en la selección de comunicaciones científicas en torno a la producción de conocimiento aplicado a la ingeniería genética, análisis epistémico del discurso de divulgación científica en torno a los Organismos Genéticamente Modificados.

En esta sección realizaremos un análisis de los mecanismos de desarrollo cognoscitivo que pudimos identificar en el discurso de Bolívar Zapata asociado a los OGM en México. Nuestra estrategia consiste en identificar los comportamientos cognitivos o esquemas de acción, tales como asimilación, acomodación, abstracción empírica, generalización inductiva, abstracción reflexiva y generalización completiva. Pero además también hacemos un análisis de las posturas epistémicas empiristas a partir de las cuales se construye el conocimiento que válida y promueve los OGM en México.

Haremos también una propuesta sobre lo que consideramos el marco epistémico y los paradigmas sociales que subyacen al discurso de Bolívar Zapata tomando en cuenta otras voces que ya fueron expuestas en el primer capítulo de este trabajo.

Otras de las operaciones cognitivas que analizamos serán las asociaciones, diferenciaciones, integraciones, significaciones, correspondencias, transformaciones, constataciones, anticipaciones, inferencias, relaciones causales y explicación causal que se encuentran en el discurso científico asociado a los OGM en México.

Asimismo intentaremos definir qué tipo de concepción de la naturaleza permea en este discurso, en la aceptación y rechazo de observables, la conmutabilidad y la relación entre teoría y observación que se considera en el mismo.

Por último ubicamos las etapas intra, inter y trans operacionales dentro de este discurso y los observables del objeto y del sujeto, así como las coordinaciones de los mismos que pudimos identificar en el discurso de Bolívar Zapata.

3.2.1 Marco epistémico

Está compuesto por el tipo de preguntas, valores, ideas, juicios, ideología y cosmovisión que orientan la construcción de problemáticas y la propuesta de soluciones. Se hace evidente al analizar la concepción de la naturaleza que tienen los sujetos cognoscentes, la relación entre teoría y observación y la noción sobre qué es el conocimiento.

En este trabajo sostenemos que la postura epistémica de los defensores de los OGM en México, es empirista debido a que su proceder metodológico se caracteriza por el análisis de elementos aislados de su contexto a partir de los cuales desarrolla una teoría conformada por una gama de conceptos abstractos (en el sentido en que Engels lo definió es decir, separados, aislados y diseccionados para conocer y definir un determinado fenómeno). El empirismo también se caracteriza por una metodología que se dedica obsesivamente a recolectar datos mediante la observación de los hechos, haciendo hincapié en que esta postura afirma que lo que observamos es lo que realmente existe, la crítica principal al realismo extremo estriba en no reconocer las limitantes de nuestros sentidos. El empirismo cultiva el dato como el verdadero universo del conocimiento (Córdoba, 2007). Aunque aquí es de suma importancia aclarar que las afirmaciones que son empíricamente verificables no convierten al investigador en empirista. La raíz del empirismo se encuentra en la metodología antes descrita. La evidencia empírica es distinta al empirismo, este último constituye una postura filosófica que considera a la experiencia como única base de los conocimientos humanos. El empirismo también tiene importantes diferencias con el método científico, este consiste en un procedimiento que busca confirmar o refutar hipótesis a través de la selección o diseño de experiencias concretas cuyos resultados sean considerados de máxima relevancia para la hipótesis que se formula. Asimismo implica el análisis y evaluación detallada de todo tipo de resultados, tanto los que confirman los objetivos o hipótesis como aquellos que parecen contradecirlos. Por el contrario en el empirismo no hay selección rigurosa de experiencias, se analizan datos aleatoriamente hasta confirmar lo esperado y los resultados que no concuerden con la hipótesis inicial simplemente son desechados. (Andreu, 2000)

En ese sentido la ingeniería genética asume que se puede modificar una parte de los organismos sin alterar el resto y, además, que se puede predecir cómo esa alteración va a impactar en las características visibles o fenotipo de los organismos, no solamente en condiciones de laboratorio, sino también en cualquier ambiente en que sean liberados (Espíndola, 2017).

Como ejemplo de la metodología empirista (aislar elementos para estudiarlos por separado) tenemos:

No podemos modificar una célula si no entendemos cuáles son sus elementos, y una vez que hemos modificado la célula, tenemos que estudiar estas modificaciones para darle nuevas propiedades (Bolívar Z., 2001)

Asimismo la perspectiva desde la cual se reflexiona este tema rechaza las posiciones aprioristas y empiristas lo que conduce a rechazar la existencia de “lecturas puras” de la experiencias a partir de las cuales sea posible la “reconstrucción racional” del conocimiento. Los datos empíricos que se analizan constituyen interpretaciones de los datos sensoriales o de las observaciones lo cual implica la posibilidad de que exista más de una interpretación válida o que esta pueda cambiar en el transcurso del tiempo (García, 2000; 20)

Es importante también mencionar las metáforas que utiliza Bolívar Zapata para explicar cómo funcionan los organismos transgénicos:

En geografía, un mapa es la posición que guardan los países con respecto a ellos mismos en el planeta. En genética, un mapa es la posición que guardan los genes con respecto a ellos mismos en las cintas de DNA que forman los cromosomas de un determinado organismo. Si comparáramos uno de nuestros cromosomas e hiciéramos una analogía con una cinta musical o de video, diríamos que de la misma manera en que en una cinta musical se encuentra almacenada información que se traduce en música, en una cinta genética de un cromosoma, se encuentra almacenada información genética, que se traduce en proteínas. Siguiendo la analogía entre el DNA del cromosoma y la cinta musical, sabemos que en ésta se encuentra almacenada información para diferentes canciones y que cada una de estas canciones está a su vez almacenada en un segmento específico de esa cinta y de una manera lineal, esto es, primero se encuentra el segmento que codifica o guarda información para la primera canción, luego el segmento para la segunda melodía, y así hasta la última canción; asimismo, estos segmentos de cinta son de diferentes tamaños y por ello las canciones también lo son. En el caso de una cinta genética, sabemos asimismo que se encuentra almacenada información para hacer varias y diferentes proteínas y que la información para cada una de estas proteínas o canciones genéticas está almacenada en un segmento específico del a cinta para cada una de ellas, que se llama gene. Estos genes se encuentran organizados de manera lineal, uno después de otro, y al igual que los segmentos de la cinta musical, que codifican cada uno de ellos para una canción diferente y

diferente duración o tamaño, los genes codifican también cada uno de ellos para una proteína diferente y de diferente tamaño (Bolívar, Z., 2000).

Esta forma de comunicar el funcionamiento de los genes dentro de los organismos difiere de otra concepción científica orientada a los sistemas complejos, por ejemplo la Dra. Elena Álvarez-Buylla, ganadora del Premio Nacional de Ciencias y Artes en 2017 afirma en entrevista que:

La investigación en biología del desarrollo, empleando plantas como modelo, ha dejado claro la importancia de realizar estudios desde un enfoque “sistémico”, que permita entender los componentes más importantes en el surgimiento de las formas vivas, pero también sus interacciones, las cuales son muy complejas. Con este entendimiento integral es posible comprender mejor cómo emergen los diferentes tipos celulares en el desarrollo, un proceso que no ocurre en el estudio de los transgénicos, puesto que en éste se aíslan componentes para establecer una sola dimensión y dirección de los genes. Lo anterior es una forma simplista de entender un organismo complejo y que en un gen o grupo de ellos rigen todo un sistema. (Torres, 2017)

La investigadora del Instituto de Ecología de la UNAM también señala que si bien “el descubrimiento del ADN abrió la posibilidad de identificar algunas secuencias asociadas a algunas proteínas y establecer la posibilidad de realizar una edición genética en los organismos, de cortar, pegar y recombinar; esto no significa que entendamos qué hacemos exactamente, de cómo se modifica el organismos y cómo se comportará una vez liberado al ambiente o no lo comamos” (Torres, 2017).

Otra de las principales críticas en contra de la concepción lineal de los genes (que Bolívar Zapata explica en párrafos anteriores) es que los cambios proporcionales en un componente no dan cambios proporcionarles en el otro, porque existen retroalimentaciones no lineales y para comprender mejor el sistema en general se requieren herramientas computacionales y matemáticas (por ello no sólo basta la evidencia empírica aunque se haya acumulado por décadas), así como vislumbrar cómo las interacciones dan lugar a la diferenciación celular o al comportamiento de las plantas cuando se enfrentan a diferentes tipos de estrés ambiental afirma Álvarez-Buylla (Torres, 2017).

La investigadora también afirma que los transgénicos están basados en paradigmas ya superados en biología tales como el reduccionismo y el genocentrismo, que no ven a los organismos como sistemas complejos con *emergencias* autorganizadas, sino como máquinas.

Sin embargo, no somos costales de genes donde podamos cambiar un gen por otro y tener como resultado un organismo distinto que se comportará como uno quiere en todos los ambientes, afirma. Cuando se hace una transformación genética cambian muchos otros aspectos de los sistemas complejos y se alteran las redes regulatorias y metabólicas de los organismos (Torres, 2017)

Otro rasgo del marco epistémico del que parten nuestros autores es acerca de la construcción del problema y las preguntas que se plantean para resolverlo. Para Bolívar Zapata el problema que justifica la creación de OGM en México es el aumento de la población y la demanda de alimentos (cuestión que ya fue comentada en el capítulo I); y la contaminación provocada por el uso indiscriminado de pesticidas (resultado de la implementación de la Revolución verde que el propio Bolívar defiende de manera paradójica). Como prueba de ello tenemos:

México enfrenta grandes retos para proporcionar una vida digna a sus habitantes. Tenemos problemas (enfermedades) y demandas de la sociedad (grandes volúmenes de alimentos sanos, nutritivos, un medio ambiente no contaminado), que han implicado y seguirán implicando el uso de tecnología y, ciertamente, la biotecnología moderna es herramienta poderosa para contender con estos retos. (Bolívar, 2004, 61)

En esta afirmación también expresa el propósito de las plantas transgénicas:

Ahora bueno el rollo de las plantas, por qué las plantas y el rechazo. Bueno de entrada les digo cuál es el propósito. El propósito y ya se ha logrado es que las plantas transgénicas están diseñadas para reducir los insecticidas químicos que se usan y se siguen usando en México, lamentablemente en muchos lados para matar las plagas de insectos. Como ustedes saben pues los insectos están allí y hay que matarlos. Y se usa normalmente en la mayor parte del planeta todavía insecticidas químicos, algunos de ellos muy peligrosos porque generan cáncer y algunos otros contaminantes. Entonces la razón de las plantas fue esto, vamos a incorporar en el genoma de la planta, un gene, material genético de una bacteria en este caso o de otro lado, que le de resistencia a plagas de insectos. De hecho las primeras plantas transgénicas llevaban este gene de resistencia, de hecho a diferentes plagas. (Bolívar, 2017)

En el siguiente párrafo Herrera Estrella nos describe el proceso de modificación genética en el que destacamos la metodología basada en la separación de un organismo en partes elementales y su análisis aislado de su contexto inmediato. Este principio tiene una raíz profunda dentro de la ciencia moderna, ya que como se explica más adelante pertenece a una visión cartesiana:

Los métodos convencionales de mejoramiento de plantas, conocidos como fitomejoramiento, están basados en la transferencia de genes entre individuos; los individuos sobresalientes son

seleccionados en ciclos subsecuentes de cultivo, hasta que después de numerosos eventos de cruzas y retrocruzas dirigidas, aunadas a laboriosas pruebas de campo, se obtiene una generación portadora de la característica deseada que es reconocida como una nueva variedad. La tecnología de las plantas transgénicas tiene el mismo propósito, incorporar genes que confieran nuevas características deseables a una planta, pero en lugar de utilizar cruzas, emplea técnicas de biología molecular que permiten transferir genes no solo entre especies cercanas, compatibles de cruzarse sexualmente, sino también de otras especies muy lejanas evolutivamente o aun de otros organismos como son las bacterias y los hongos. La idea básica es la búsqueda de características deseables, por ejemplo, la producción de una vitamina que las haga más nutritivas o de un insecticida que las proteja del ataque de insectos, identificar los genes responsables de las mismas y transferirlos a una célula, de la cual se pueden regenerar plantas completas. El resultado es una planta genéticamente idéntica a la original además de uno o algunos genes responsables de la nueva característica. (Herrera, 2004)

En términos generales, el marco epistémico del que parte es la consideración de que los seres vivos funcionan de manera similar a las máquinas, por ello pueden ser aislados de su contexto ambiental y separados en partes. También subyace la idea de que los seres vivos están determinados genéticamente. El método de segmentación de los objetos propia de la tradición analítica de la ciencia moderna, es una herencia de la ciencia del siglo XVII. Descartes sostenía en su *Discurso del método* que un animal es semejante a una máquina y por lo tanto está formado de partes distinguibles que se relacionan de forma causal para el funcionamiento del organismo. Este modelo cartesiano constituyó el tipo de descripción que se hace del mundo. Al aceptar que un ser vivo se puede estudiar como si fuera una máquina, se acepta la idea de que puede dividirse en partes y el hecho de que sean sólo partes, no representa ningún problema, se acepta también que estas partes se relacionan entre sí de manera inequívoca a través de una cadena de relaciones causales lineales que dan como resultado final las propiedades del todo. (Lewontin; 2000: 44)

También se parte del supuesto de que las moléculas, además de que se reproducen a sí mismas, tienen el poder de crear las sustancias de que está compuesto el organismo y contienen todas las “informaciones” necesarias para especificar y determinar el organismo en su totalidad. Se considera también que el desarrollo de un organismo se explica como el desenvolvimiento de una cadena de hechos ya preestablecidos por un programa genético. (Lewontin; 2000: 56). Como ejemplo tenemos: “Simplemente [quiero] recordarles la maravilla del ADN, esta molécula maravillosa en donde reside la vida de los organismos vivos” (Bolívar, 2017). Bolívar considera que un fenómeno tan complejo como la vida puede residir en una parte tan pequeña de esta: el ADN. Dentro de la discusión académica en el

seno de la propia biología, este paradigma es reduccionista. La biotecnología es un ejemplo paradigmática de una concepción reduccionista del mundo. Según esta concepción, los seres vivos sólo pueden ser entendidos por medio de la búsqueda y la comprensión de su esencia, la cual está contenida en los ácidos nucleicos, esta esencia es el gen. La postura epistemológica que subyace en esta afirmación es que se considera que las propiedades que existen en el todo son iguales a las propiedades que existen en la parte esencial, que el todo es la suma de las partes. Desde el punto de vista de la biotecnología las propiedades de un organismo son la suma de las propiedades de los genes. (Muñetón, 2009)

A esta postura se contrapone una concepción dialéctica de los seres vivos que no está basada en esencias sino en relaciones, las cuales disparan los procesos que en los organismos tienen lugar. En el caso del ADN está claro que un ácido nucleico o una secuencia de genes no pueden operar de forma aislada del entorno que lo rodea en una célula. Lo que permite que los ácidos nucleico expresen su función es el entramado de interacciones que sostiene con su entorno. Las constantes relaciones que emergen en un organismo permiten que se lleven a cabo una gran cantidad de cambios cuantitativos y cualitativos. Los segundos son aquellos procesos en los cuales lo que resulta después del cambio ya no se puede entender de acuerdo con lo que había antes, ya que ocurre un cambio en las relaciones entre los componentes del sistema. De ahí se deriva la crítica a la biotecnología, ya que se está intentando abstraer a los ácidos nucleicos de su contexto de relaciones (Muñetón, 2009).

El concepto de epigenética introducido en los años cincuenta por el genetista Conrad H. Waddington también ejemplifica muy bien el tipo de alternativas que surgen en contraposición al reduccionismo genético. La epigenética es el análisis del desarrollo que implica todas las interacciones de los genes con su medio ambiente. La epigenética estudia los cambios heredables en la expresión genética que son independientes de la secuencia de nucleótidos, es decir, que ocurren sin cambios en la secuencia del ADN (Delgado-Coello, 2011).

3.2.2 Significaciones

En cuanto a las significaciones, García (2000) expresa que están determinadas por lo que se puede hacer con el objeto, lo que se puede decir de él o lo que se puede pensar. La

significación está dada por el papel que le atribuye el sujeto (y el contexto social en el que se desarrolla) a los objetos y el contexto de sus relaciones con otros fenómenos o situaciones y por supuesto al sentido que se le otorga a los mismos.

La humanidad ha venido modificando genéticamente, a lo largo de cientos de años, las especies que utiliza para su alimentación, y que hasta hace poco sin conocer la estructura del material genético, utilizando mutágenos que se sabe generan múltiples cambios en los genomas de los organismos. Sin embargo, estas técnicas originales de mutagénesis y los organismos generados, no se cuestionan como los transgénicos, cuando en el fondo hoy sabemos que los métodos usados previamente generan cambios mucho más amplios en el genoma de estos organismos. La razón de la falta de cuestionamiento es, probablemente, la ausencia de daño por estos organismos altamente modificados, desde el punto de vista genético. (Bolívar, 2017)

La significación en esta afirmación está dada por la consideración de que los seres humanos han podido modificar a nivel genético durante años a otras especies aun sin saberlo, por lo tanto el papel que se le atribuye al objeto es de mero receptor pasivo de la acciones de los seres humanos. Este fenómeno se inserta en una red de relaciones que llevan a la afirmación de que los transgénicos son parte de un proceso totalmente natural:

(...) resulta insostenible científica y bioéticamente, calificar esta capacidad humana de crear organismos transgénicos como “antinatural”, cuando el material genético de todos los seres vivos tiene la misma estructura general y hay evidencia de que la transferencia horizontal y reorganización del genoma mediada por virus, bacterias y transposones, han ocurrido a lo largo de la evolución y siguen ocurriendo de manera permanente en plantas, animales y en el hombre. (Bolívar, 2004, 63).

3.2.3 Asimilación/Acomodación

Esta conducta cognoscitiva le permite al sujeto incorporar nueva información a sus esquemas cognitivos previos. En este caso, lo que analizamos es la forma en la que Bolívar Zapata asimila las críticas a los OGM en México. En el primer ejemplo tenemos:

Hay académicos que consideran que los transgenes pudieran generar respuestas no evidentes en el organismo receptor, aunque algunos otros pensamos que éste no sería el caso, ya que como se señaló, la transferencia horizontal del material genético y la reorganización del genoma son fenómenos que ocurren permanentemente en la naturaleza, y los transgénicos son creados por transferencia horizontal y reorganización del genoma y por ello son organismos naturales. (Bolívar; 2004, 262)

La postura epistémica de la que se parte es que en la naturaleza, la transferencia genética es un fenómeno cotidiano, por lo tanto, los OGM no representan ningún riesgo. Esta postura está basada en un tipo de conducta cognitiva denominada generalización inductiva, sin

embargo el exceso de esta herramienta puede conducir a la construcción de falsas generalizaciones, ya que como veremos más adelante, es necesario incluir relativizaciones y no sólo correspondencias en la estructura de los argumentos científicos. Es de vital importancia señalar que esto no implica no usar generalizaciones inductivas, como lo hemos desarrollado en el capítulo II, este mecanismo cognoscitivo es fundamental para el desarrollo de abstracciones y generalizaciones, es decir de conocimiento. Lo que se objeta es que este mecanismo sea el único o el predominante dentro de una argumentación.

En esta afirmación también podemos observar otro elemento epistémico, a saber, García (2000) hace una diferenciación entre asimilación y asociación. La primera necesita de la acomodación, es decir, de la transformación de las estructuras cognitivas en función de las particularidades del objeto cognoscible, mientras que en la asociación simplemente se realiza una relación de similitudes entre los objetos conocidos o por conocer. Cuando Bolívar Zapata menciona las enormes similitudes entre las especies a un nivel genético, está haciendo un ejercicio de asociación o de comparación sin tomar en cuenta las transformaciones, relativizaciones y diferenciaciones que se serían necesarias para una mejor comprensión del proceso en el que se desenvuelve un fenómeno biológico.

En segundo lugar tenemos una referencia a los señalamientos y críticas a la contaminación genética a maíz nativo a partir de la introducción de maíz Bt en México, situación señalada por Quist y Chapela en 2001:

En lo personal, la presencia, que no contaminación, del maíz Bt en el campo mexicano, no ha generado, hasta ahora, ningún problema importante, incluyendo el hecho de la presencia del transgene en maíces criollos. Ciertamente, y estoy de acuerdo también, ahora hay que monitorear con cuidado y detalle a corto, mediano y largo plazos lo que ocurra con estas plantas y este transgén. La información y experiencia será muy importante para evaluar realmente los posibles riesgos biológicos. Sin embargo, no considero que la presencia de este transgén en particular vaya a significar la desaparición de los maíces criollos en México (Bolívar; 2004: 264).

Es importante precisar que aquí se puede observar un aspecto importante del debate y la discusión que se sostiene en torno a los alimentos transgénicos. En 2001 el ecólogo y microbiólogo de la Universidad de California en Berkeley Ignacio Chapela y su colega David Quist hicieron un estudio en el que comparan muestras de maíz criollo de la Sierra norte de Oaxaca con las variedades Genéticamente Modificadas de la compañía Monsanto. De acuerdo con los resultados de su investigación se detectó ADN de plantas Genéticamente

Modificadas en cultivos tradicionales. Por otro lado, como se puede observar, el bioquímico Bolívar Zapata no considera que esto represente una contaminación sino sólo una mera presencia, pero no detalla en que se diferencian ambas.

Por ello en esta afirmación podemos observar un fuerte arraigo hacia las constataciones, es decir, las afirmaciones ancladas a la observación pero no hay un paso a las anticipaciones que no requieran de observaciones empíricas. Por otra parte, la certeza que manifiesta sobre la imposibilidad de que desaparezcan los maíces criollos puede ser un ejemplo de seudonecesidad.

En este otro ejemplo se hace referencia a los señalamientos que advierten sobre el peligro que puede significar la introducción de OGM en México:

*Después de 25 años de diseñar, construir y utilizar muchísimos organismos transgénicos, nadie puede asegurar que no haya pasado absolutamente nada por haberlos utilizado, pero sí se puede decir que, después de todos estos años, nada grave o importante ha sucedido por la utilización de los transgénicos, y que estos nuevos organismos, totalmente naturales, no sólo han permitido resolver un buen número de problemas sino que han abierto también avenidas novedosas y extraordinarias para satisfacer las necesidades de la sociedad humana y del planeta. Indudablemente, si algo grave o importante pasara por la utilización de los transgénicos, habría que reevaluar la situación, tanto en lo general como en lo particular. Pero insisto, como se ha **constatado**, hasta ahora esto no ha sido el caso, aunque aceptamos que la posibilidad existe (Bolívar, 2004, 268).*

En esta afirmación se puede observar que el autor está considerando únicamente las constataciones que se han presentado al respecto (sin mencionar sus numerosas contrapartes señaladas algunas de ellas en el capítulo I de esta investigación), las inferencias y anticipaciones son sistemáticamente excluidas de su discurso.

3.2.4 Abstracción Empírica/Generalización Inductiva

La abstracción empírica es un mecanismo cognitivo que le permiten al sujeto señalar propiedades y características de los objetos y está referida a las observaciones de manera directa. La generalización inductiva por su parte, lleva a los sujetos a constatar ciertas relaciones que se han repetido y a considerar que seguirán repitiéndose en hechos del mismo tipo. Estos dos mecanismos si bien son parte fundamental del desarrollo cognoscitivo, se encuentran en un nivel de desarrollo inferior puesto que ambas están ancladas en los observables del objeto sin dar paso aún a la construcción de observables del sujeto. En el primer ejemplo tenemos:

La teoría de la evolución de Darwin señala que todos los seres vivos derivamos de un mismo precursor común. Esta propuesta se ha ido reforzando y consolidando con la evidencia generada a partir de la secuenciación de genomas que ha demostrado que todos los seres vivos compartimos material genético incluyendo muchos genes. De hecho, el genoma de la raza humana es similar en 98% al del chimpancé, 90% al del ratón, 40% al de la mosca, 30% al de las plantas y 20% al de la levadura. También compartimos genes bacterianos incluyendo los localizados en las mitocondrias de nuestras células. (Bolívar; 2011, 45)

En este párrafo podemos observar una serie de descripciones en torno a las similitudes en el nivel molecular de distintos seres vivos. Esta es una afirmación basada en la abstracción empírica porque está basada en las observaciones obtenidas a partir de la secuenciación de genomas. Esta descripción es utilizada para afirmar la inocuidad de la transgénesis en plantas de consumo humano. Otro ejemplo de la utilización de este mecanismo es la siguiente:

La secuenciación del genoma de Arabidopsis, una pequeña hierba que se usa como sistema modelo para el estudio de las plantas superiores, mostró que durante su evolución ocurrió una duplicación completa de su genoma seguido por la pérdida y duplicación de genes, como la presencia de fragmentos del genoma del cloroplasto en el núcleo. Esta evidencia, claramente indica que los genomas de las plantas son altamente dinámicos y que se modifican continuamente. Lo anterior y ejemplos en otros organismos indican la capacidad de reorganización del genoma de la célula viva, sin detrimento de su capacidad funcional como ser vivo. (Bolívar, 2011, 59)

En esta afirmación encontramos otra descripción de las propiedades y características observables y materiales de una especie vegetal, que como veremos más adelante se va a generalizar al fenómeno de la transgénesis artificial y es usado como una prueba de la postura que afirma que los OGM no representan ningún riesgo para el medio ambiente o la salud humana, debido a que se considera que es un fenómeno *natural*. Esta es una postura epistémica que le atribuye a la naturaleza características benéficas *per se*.

Por otra parte, podemos ubicar al mecanismo de generalización inductiva, que es el más utilizado en el discurso de Bolívar Zapata ya que continuamente utiliza constataciones de fenómenos biológicos para afirmar que en el caso de la construcción de OGM estas relaciones siguen siendo válidas, por ejemplo:

Si los seres vivos compartimos tanta información y no somos tan diferentes, desde el punto de vista genético, ¿no debería ser esto un elemento para mitigar la preocupación de la transferencia de material genético entre especies, mediada por el hombre, ya que este tipo de fenómeno ocurre a diario en la naturaleza? Nuestro genoma y el de todos los animales y plantas tienen muchos genes de origen bacteriano, tanto en el nivel de los cromosomas del núcleo, como en el propio cromosoma de la mitocondria de todas nuestras células. Por ello, sinceramente pienso que si alguna planta o animal adquiere alguno o algunos genes por transferencia horizontal o transgénesis mediada por el hombre, no significa que esto sea en principio un hecho antinatural. La construcción de organismos

transgénicos por el hombre debe tener un propósito definido y tendiente a conocernos mejor, a entender y defender mejor la naturaleza y a enfrentar nuestras enfermedades y nuestras necesidades (Bolívar, 2004, 65).

En esta afirmación Bolívar utiliza el hecho constatado de que en la naturaleza hay intercambio de información genética entre especies a través de infecciones virales y del hecho de que los seres vivos somos semejantes en un nivel y a una escala muy particular: la genética; para aplicarla a otro fenómeno, la ingeniería genética y afirmar con ello que es un proceso seguro y natural. Es una generalización inductiva porque a partir de un hecho singular constatado, afirma que las mismas relaciones seguirán siendo válidas para otros hechos del mismo tipo. Otro ejemplo de esta conducta cognitiva se expresa en la siguiente afirmación:

¿Por qué tanta preocupación por los transgénicos? Me permito recordarles que el genoma humano está constituido, en cerca de 50%, de material repetido derivado de reliquias retrovirales, resultado posiblemente de diversos sucesos de transferencia horizontal por infecciones virales como el sida, a lo largo de la evolución. Por otro lado, compartimos 98% de nuestro genoma con el chimpancé, 90% con el ratón, 70% con la mosca y un alto porcentaje también con las plantas. También tenemos muchos genes que tienen origen bacteriano, probablemente debido a infecciones o transferencias virales y bacterianas (mitocondrias) ocurridas a lo largo de diferentes etapas de la evolución de nuestra especie. (Bolívar, 2004, 68)

A esta afirmación podemos contrastar la idea que desarrolla Lewontin (2000, 59) que evidencia que ciertas corrientes de la biología (y de la biotecnología) se concentran únicamente en los elementos causales que son comunes a todas las especies, estos elementos comunes se encuentran necesariamente al interior del organismo, consideran por lo tanto que forman parte de su naturaleza prefijada y no que puedan derivar de factores accidentales y variables provenientes del medio ambiente. Por lo tanto, a la conclusión a la que arriban necesariamente es la de que la esencia de los organismos está prefijada en los genes. Para ilustrar esta postura epistemológica, Lewontin cita a Sydney Brenner a quien califica como uno de los más eminentes biólogos moleculares y quien declaró que si tuviera la secuencia completa de ADN de un organismos y una computadora lo suficientemente potente, podría elaborar un organismo, o la afirmación de Walter Wilbert según la cual una vez descifrado el genoma humano sabremos lo que significa ser humano.

Si bien es cierto que el mecanismo de generalización inductiva es el más utilizado en la ciencia, en esta investigación delimitamos esta afirmación a la noción de uncausalidad, es

decir a la idea de que un efecto es siempre el resultado de una sola causa, la relación causa-efecto es unitaria, que la causa precede siempre al efecto y que la causa está separada del efecto. Si bien esta concepción tiene un enorme éxito y goza de gran prestigio cuando se estudian sistemas inanimados u objetos de la física newtoniana, no aplica para el análisis de sistemas complejos como lo son los sistemas vivos y sistemas sociales ya que en éstos no siempre es cierto que una causa produzca un solo efecto o que siempre sea la misma y siempre le preceda. Asimismo un gen puede codificar para diferentes características, partes de un gen se pueden expresar en un momento dado y en otros momentos no, dependiendo de las condiciones en las que se encuentre, por lo tanto la relación entre causas y efectos no es lineal. (Muñetón, 2009). Es en este sentido que se analiza la generalización inductiva, que como recordamos consiste en abstraer una relación que se ha repetido y considerar que seguirá siendo válida para hechos del mismo tipo. Es necesario aclarar nuevamente que no estamos negando la eficacia y utilidad de este mecanismo en general, sino sólo una aplicación que está sujeta a debate dentro de los límites que se acaban de precisar.

3.2.5 Diferencias e Integraciones

De igual forma pudimos identificar en la estructura discursiva de Bolívar Zapata un exceso de integraciones pero sin diferenciaciones, ya que se consideran únicamente las similitudes entre los organismos y las especies y no las características específicas que las diferencian:

(...) no es un ADN diferente es parte de un organismo que vive en la tierra por ejemplo, o de otro origen, pero el material genético es exactamente lo mismo desde el punto de vista químico, desde el punto de vista biológico, que el material genético que tiene una célula que va a recibir este transgen y así construimos células transgénicas (Bolívar, 2017).

Esta postura es criticable debido a que se considera que si un gen que codifica para una determinada característica se transfiere a otro organismo, ese organismos lo único que va a hacer es expresar fenotípicamente lo que genotípicamente tiene codificado, mediante relaciones unitarias de causa-efecto y sin considerar que las relaciones se alteran bruscamente al llevarse a cabo la inserción de uno o varios genes en un genoma de un individuo de otra especie que incluso se encuentra muy alejada evolutiva o filogenéticamente de la especie donadora (Muñetón, 2009).

3.2.6 Correspondencias y Transformaciones

De acuerdo al análisis del discurso de Bolívar Zapata (2004, 2011 y 2017) podemos afirmar que hay correspondencias, es decir, asociaciones entre contenidos diversos, o la aplicación de las mismas formas a diferentes contenidos. Esta operación está ligada estrechamente con la generalización inductiva, que es el mecanismo más utilizado por este autor. Un ejemplo de ello lo tenemos en la afirmación:

(...)y lo que es maravilloso, lo que es increíble y es donde reside la vida y es por ello que podemos hacer los organismos transgénicos, por eso el material genético de los organismos se puede mover entre diferentes especies, es porque tenemos esta estructura general de la doble hélice que nos permite que el material genético de cualquier origen pueda integrarse en nuestras células como lo hace el virus del SIDA o lo hacen las plantas que cuando son infectadas por bacterias como la agrobacterium (Bolívar, 2017)

Sin embargo no pudimos identificar transformaciones, es decir, la construcción de nuevos contenidos a partir de otros que no los contienen analíticamente.

3.2.7 Relaciones Causales

El establecimiento de relaciones causales se hace con base en las constataciones y no contienen elementos explicativos por sí mismas sino que simplemente establecen sucesiones temporales o asociaciones que no permiten comprender el proceso de transformación del fenómeno. Este tipo de relaciones se puede ejemplificar con las siguientes afirmaciones:

(...) tampoco queremos que el escenario de la industria petrolera se repita en el área de la diversidad biológica: exportando petróleo e importando productos derivados de alto valor agregado; exportando plantas y cultivos autóctonos e importando alimentos y productos farmacéuticos y de otros tipos de alto valor agregado, fabricados a partir de ellos, eso es absurdo y atenta contra nuestra soberanía a largo plazo (Bolívar, 2004, 63).

En esta afirmación podemos advertir cómo se establece una causa: prohibir el cultivo de OGM y un efecto: la pérdida de soberanía. Un argumento muy parecido es el siguiente:

Ciertamente, existen posibles riesgos por el uso de transgénicos en diferentes escenarios, pero los riesgos de cancelar el uso de transgénicos para la solución de problemas específicos son enormes y seguramente implican y conllevan a la dependencia tecnológica y a la pérdida de la soberanía nacional (Bolívar, 2011, 50).

Lo mismo podríamos decir de la relación causal que establecen a menudo los defensores de OGM entre el fenómeno de la pobreza y la cantidad de alimentos producidos. La prohibición

del cultivo de OGM no conduce a la pérdida de soberanía alimentaria concepto que descansa sobre seis pilares (Gordillo, 2013):

1. Se centra en alimentos para los pueblos: pone la necesidad de alimentación de las personas en el centro de las políticas e insiste en que la comida es algo más que una mercancía.
2. Pone en valor a los proveedores de alimentos: apoya modos de vida sostenibles y respeta el trabajo de todos los proveedores de alimentos.
3. Localiza los sistemas alimentarios: reduce la distancia entre proveedores y consumidores de alimentos y resiste la dependencia de corporaciones remotas e irresponsables.
4. Sitúa el control a nivel local: lugares de control están en manos de proveedores locales de alimentos, reconoce la necesidad de habitar y compartir territorios y rechaza la privatización de los recursos naturales.
5. Promueve el conocimiento y las habilidades: se basa en los conocimientos tradicionales, utiliza la investigación para apoyar y transmitir este conocimiento a generaciones futuras y rechaza las tecnologías que atentan contra los sistemas alimentarios locales.
6. Es compatible con la naturaleza: maximiza las contribuciones de los ecosistemas, mejora la capacidad de recuperación y rechaza el uso intensivo de energía de monocultivo industrializado y demás métodos destructivos.

De acuerdo con la definición de soberanía alimentaria de la FAO los transgénicos no contribuyen a la soberanía alimentaria puesto que el cultivo de transgénicos ha sido un instrumento clave para facilitar la mayor concentración corporativa de la historia de la alimentación y la agricultura. Prueba de ello es que son sólo seis empresas transnacionales las que controlan el total de los transgénicos sembrados comercialmente en el mundo. Además esas mismas seis empresas son las mayores fabricantes globales de agroquímicos, lo que explica que el 85% de los transgénicos sean cultivos manipulados para resistir grandes dosis de herbicidas y plaguicidas ya que es de la venta de éstos de donde obtienen las mayores ganancias. Asimismo la siembra de transgénicos aceleró el desplazamiento de pequeños productores, empobreciéndolos debido a la sustitución de gran parte de la mano de obra por maquinaria lo que ha aumentado el desempleo rural. El modelo agroindustrial en el que se

siembran los transgénicos es incompatible con la diversidad de sistemas alimentarios campesinos de pequeña escala que son los que actualmente alimentan al 70% de la población mundial (ETC Group, 2013).

3.2.8 Abstracción Reflexiva/ Generalización Compleativa

El mecanismo de abstracción reflexiva le permite a los sujetos reinterpretar los objetos que se construyen en el nivel de abstracciones empíricas porque gracias a esta operación cognoscitiva es posible establecer relaciones y construir propiedades que no son observables. En este nivel se conceptualizan las constataciones empíricas y se establecen relaciones entre las nuevas propiedades y las construidas en el nivel anterior. Otra de las características de esta operación cognoscitiva es que constituye una reflexión sobre la propia reflexión, es decir, es una reflexión de segundo orden. (Piaget, 1979, 5)

Dadas todas estas evidencias en favor de la plasticidad y capacidad de reorganización del genoma y de la transferencia horizontal de ADN como un fenómeno natural, resulta difícil entender la preocupación de que un gene bacteriano que codifica para la proteína “Bt” que es tóxica a ciertos insectos que haya sido incorporado por técnicas de ingeniería genética a una planta, tenga la posibilidad de generar una “catástrofe ecológica”. Lo anterior se sustenta en el hecho de que los vivos han evolucionado y lo seguirán haciendo, a través de adquirir material genético por transferencia horizontal, mutando y reordenando sus genes y cromosomas, sin provocar catástrofes ecológicas. Los escenarios que preocupan por la presencia de un transgene en un organismo podrían darse diariamente por la transferencia horizontal y la reorganización del genoma al infectarse las y/o animales por virus o bacterias. (Bolívar, 2004, 68)

Esta afirmación es una abstracción reflexiva porque establece una relación entre la dinámica evolutiva de los seres vivos (abstracción empírica) y la imposibilidad de que esta dinámica genere una catástrofe ecológica (construcción de posibles o imposibles). A partir de las observaciones en un nivel anterior, se genera una reflexión sobre la acción (la construcción de OGM) pero no hay una reconstrucción de los observables empíricos. Otro ejemplo de abstracción reflexiva es:

El cancelar en México el uso de esta tecnología tendría también otras consecuencias muy graves. (...) Eventualmente, habría variedades transgénicas de plantas como la papaya, el agave, el aguacate, con propiedades mejoradas, que indudablemente se empezarán a cultivar en otros países y ocasionalmente, aparecerán en el territorio nacional pues incorporarán características superiores en muchos aspectos (nutricionales, económicas), a las originales autóctonas. En un escenario a largo plazo, esta situación va a ocurrir en muchos casos, porque no se puede detener, por mandato judicial, la entrada de estos nuevos organismos vivos, como no se ha detenido la entrada del cólera o de la gripe o de las abejas africanas y otras plagas (Bolívar, 2004, 67).

En este argumento podemos advertir una abstracción reflexiva porque no está referida a hechos constatables sino que constituyen promesas sobre los futuros beneficios de los OGM y además establece relaciones entre lo que sí se ha constatado como la expansión de enfermedades y plagas con la propia dinámica de expansión de los OGM que se considera inevitable y además desestima las regulaciones legales a estos organismos.

En estos argumentos contruidos con base en la abstracción reflexiva podemos observar el tipo de representaciones que se configuran en torno a los OGM. En la afirmación *La biodiversidad es una gran riqueza nacional. Debemos utilizarla responsable y sustentablemente, buscando incorporar un mayor valor agregado a nuestros productos de origen biológico.* (Bolívar, 2011, 16), podemos inferir que el conjunto de valores, ideas y prácticas que orientan la relación del hombre con la naturaleza está construido con la creencia de que ésta necesita atributos que incrementen su valor a través de su constate modificación, prácticas que se consideran inherentes a la cognición humana:

No debemos olvidar que a lo largo de la historia se ha señalado en diversas ocasiones que hay ciertos asuntos, ciertas áreas, en las cuales el hombre no debe incursionar, ni conocer, por el riesgo o peligro que implica su conocimiento. Sin embargo, no podemos estar de acuerdo con el hecho de que si bien cierto tipo de conocimiento implica riesgo y peligro, la solución para esto sea la ignorancia, la prohibición o la condena. La solución debe ser la inteligencia y la sabiduría. No debemos simplemente rechazar el peligro y el riesgo, sino aprender a manejarlos. Después de todo, éste ha sido desde su inicio y seguirá siendo el reto de nuestra especie: desarrollar conocimiento y tecnología para comprender su existencia y para su supervivencia y, simultáneamente, aprender a contender con los riesgos que implica el uso de este conocimiento y la tecnología que de él se deriva y, hoy más que nunca, en armonía con el medio ambiente (Bolívar, 2004, 61).

Por otra parte, la generalización completiva constituye la cúspide (en un nivel determinado) del desarrollo cognoscitivo. En esta operación el sujeto pasa de las constataciones a las deducciones a través de una teoría que intente explicar los procesos de transformación de un objeto o fenómeno determinado. Esta operación es de suma importancia porque se basa en las operaciones del sujeto y la toma de conciencia de éste sobre sus propias acciones cognitivas, lo que lo conduce a una nueva transformación de contenidos y al enriquecimiento del fenómeno a través de la incorporación de nuevos subsistemas que contribuyen a la dinámica de éste. En este nivel se ponen en relación nuevos hechos que no habían sido tomados en cuenta anteriormente.

Sin embargo, dentro del discurso de Bolívar Zapata no pudimos identificar esta operación debido a que las afirmaciones que analizamos están basadas en su mayoría en generalizaciones inductivas, en abstracciones empíricas, correspondencias e integraciones, y no pudimos identificar un mayor número de abstracciones reflexivas, diferenciaciones o relativizaciones que permitieran construir un conocimiento que considere las relaciones e interacciones a diferentes escalas y niveles entre los elementos de un sistema biológico y su ambiente.

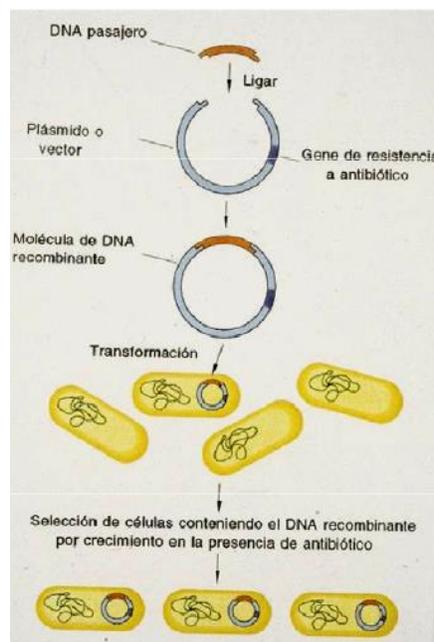
3.2.9 Mecanismos Intra, Inter y Trans Operacionales

Los mecanismos intra operacionales que están referidos al análisis de los objetos abundan dentro del discurso de Bolívar Zapata, ya que describe y caracteriza las propiedades del ADN, el concepto de gen y la metodología que permite la creación de OGM:

El ADN es el material genético de los organismos vivos. Es una macromolécula formada por millones de nucleótidos. La estructura de doble hélice complementaria es la misma en todos los seres vivos y en los virus. Esta característica es la que permite la transferencia horizontal y la recombinación genética del material genético de distintos organismos. (Bolívar, 2013)

Concepto de gene: el gene es un segmento de la molécula de ADN que forman los cromosomas. Cada gene codifica para una proteína. Tenemos 21 mil genes en los 23 pares de cromosomas en los núcleos de nuestras células. (Bolívar, 2013)

En cuanto a la metodología, Bolívar (2013) lo presenta de la siguiente manera:



En cuanto a los mecanismos inter operacionales que se caracterizan por el establecimiento de relaciones entre objetos, encontramos que se establece una relación entre el fenómeno de la transgénesis y la evolución:

El genoma de organismos superiores ha evolucionado incrementando parte de su material genético a través de infecciones virales, y de material genético proveniente de microorganismos que hayan infectado a nuestros antepasados; incorporándose así parte del material genético del organismo que infecta en el genoma de las células receptoras (Bolívar, 2013)

En nuestro genoma y en el de todos los organismos vivos hay material genético repetido, probablemente de origen bacteriano o viral, llamado “transposones” que representa al menos 30% del genoma humano. En el maíz los transposones constituyen 85% de su genoma. Los transposones son secuencias de DNA que pueden translocar su posición en el genoma, es decir pueden “brincar” de un lugar a otro, inclusive entre cromosomas, por lo que han jugado y siguen jugando un papel importante en la reorganización y evolución del genoma (Bolívar, 2013)

También pudimos observar que se establece una relación entre el fenómeno de la transgénesis y la infección viral del VIH:

Cuando se construye un organismo genéticamente modificado o transgénico independientemente de los métodos utilizados (transformación, biobalística o electroporación que per se no afectan el genoma de la célula receptora) se introduce, a través del fenómeno de transferencia horizontal del ADN, material genético específico (transgene) a una célula. Posteriormente mediante el fenómeno de recombinación genética, el transgene es incorporado como un segmento del material genético de la célula receptora en alguno de sus cromosomas. Si en este evento -que es, de facto, una reorganización del genoma- se afectara una función codificada en el cromosoma que resultara vital para la célula, ese organismo transgénico en particular no sobreviviría. El mismo tipo de evento podría suceder en el caso de una reorganización natural del genoma cuando es infectado por un retrovirus -el VIH causante del SIDA por ejemplo afectado por un transposón que cambia su posición, ya que debido a estos fenómenos pudiera ocurrir la inserción de su material genético en un locus esencial y que por ello, la célula receptora en la que ocurriera el arreglo, no sobreviviría. Luego, la incorporación y reorganización de material genético en un genoma es un proceso natural que ocurre diariamente en la naturaleza, independientemente de los transgénicos (Bolívar, 2013)

Sin embargo este tipo de relaciones no explica los procesos de transformación de los sistemas biológicos por lo que sólo son comparaciones o asociaciones.

Finalmente en un nivel trans operacional se tendría que dar cuenta de todo el proceso a través del cual un organismo vivo se transforma a partir de las múltiples interacciones que establece con otros organismos y con los elementos del medio ambiente del que forma parte, desde una escala molecular hasta una escala ecosistémica. Sin embargo, todo ese proceso no es desarrollado en el discurso científico de Bolívar, éste más bien se centra en las descripciones a un nivel molecular.

3.3 Implicaciones de la perspectiva de Maturana y Varela en el análisis epistemológico de la biotecnología agrícola.

La propuesta teórica de Maturana y Varela es una invitación a “suspender nuestro hábito de caer en la tentación de la certidumbre”. Atendiendo esta invitación, en esta sección trataremos de abrir el debate sobre aquellas certidumbres que sugiere que la manipulación genética en plantas de consumo humano no representa un riesgo para la salud y para la biodiversidad, postura que sostiene parte de la comunidad científica no sólo de este país sino del mundo, basta sólo recordar que en junio de 2016, 109 galardonados con el premio Nobel entre ellos James Watson (reconocido por haber descubierto la estructura del ADN) y la bioquímica Israelí Ada Yonath (quien esclareció la estructura del ribosoma) han firmado una carta contra la Organización Ecologista Greenpeace por su rechazo a los transgénicos. Aseguran que los alimentos transgénicos son tan seguros como los tradicionales o inclusive más que éstos y afirman que nunca ha habido un solo caso de daños contra la salud de humanos o animales.

Si partimos de la afirmación que hacen nuestros autores sobre la naturaleza autopoiética de los seres vivos, así como la clausura operacional de sus mecanismos de existencia determinados por sus acoplamientos estructurales, son las interacciones recurrentes que los seres vivos establecen con su entorno, las desencadenantes de las transformaciones estructurales al interior del organismo. Por lo tanto no es posible aislar a un organismo de su medio para realizarle modificaciones estructurales fundamentales (en el ADN) y luego reinsertarlo esperando que la forma de interactuar se mantenga a pesar de haber realizado un cambio tan significativo.

Esto se debe a que las transformaciones ontogenéticas (relativas a la historia del cambio estructural de una unidad sin que ésta pierda su organización, mismas que son desencadenadas por las interacciones provenientes del medio donde se encuentra y como resultado de su dinámica interna que le permite seleccionar dichas interacciones del medio.) y las filogenéticas (relativa a la historia de las transformaciones de una especie en el curso de su desarrollo evolutivo) son siempre el resultado de red histórica de acoplamientos estructurales de las distintas especies con su medio (que son precisamente otras especies). Esta cualidad hace de todos los seres vivos seres históricos, que transforman y se transforman de acuerdo a los tipos de interacción que establecen, mismos que están determinados por su

estructura, que no es estática sino que muta de acuerdo a las perturbaciones que son seleccionadas del medio. De esta manera observamos que interacciones y transformaciones conforman un ciclo recursivo de evolución histórica en una especie determinada:

Por esto, si una célula interactúa con una molécula x incorporándola a sus procesos, lo que ocurre a consecuencia de dicha interacción no está determinado por las propiedades de la molécula x , sino en la manera cómo tal molécula es “vista” o tomada por la célula al incorporarla en su dinámica autopoietica. Los cambios que ocurran en ella a consecuencia de esa interacción van a ser aquellos determinados por su propia estructura como unidad celular (Maturana y Varela; 1984: 32).

Un fenómeno histórico está definido por nuestros autores como un proceso que ocurre “cada vez que en un sistema un estado surge como modificación de un estado previo”. El linaje de una especie está históricamente conectado a través del fenómeno de la reproducción y el de la herencia; el primero consiste en que “a partir de una unidad, y mediante algún proceso determinado se origina otra de la misma clase. Es decir: se origina otra unidad que un observador puede reconocer como definida por la misma organización que la original”; mientras que la herencia es la “invariancia transgeneracional de cualquier aspecto estructural en un linaje de unidades históricamente conectadas”. (Maturana y Varela; 1984: 37). Sin embargo, durante la reproducción hay transformaciones significativas dentro de la unidad emergente, lo que permite la existencia de variación estructural, mientras se conserva la organización, se transforman las estructuras con respecto a la unidad original. En el caso de los transgénicos vegetales de consumo humano, este punto sugiere que no es posible controlar los tipos de variación fenotípica de las plantas a partir de una unidad original, por lo tanto, las variaciones pueden localizarse a niveles no esperados y no deseados mediante la recombinación génica o a través de la influencia de factores medioambientales. En las modificaciones del ADN de plantas para consumo humano se espera que éstas se hereden a la siguiente generación. Sin embargo, no se toma en cuenta el grado de variación estructural, y con ello la incertidumbre que aparece como resultado de ésta.

Si bien los ácidos nucleicos o genes admiten pocas variaciones en su operar durante la reproducción celular que permite la conservación de estructuras fundamentales de generación en generación con pocas variaciones, es un error pensar que éste es el único factor que especifica las características de los seres vivos. De acuerdo a nuestros autores, esta idea falsa se debe a que se confunde el fenómeno de la herencia con el mecanismo de réplica de los

ADN; y también porque afirmar que el ADN contiene lo necesario para especificar a un ser vivo, excluye a estos componentes de una red de interacciones múltiples con otros componentes al interior del organismo y con aquellos que se encuentran en el entorno del propio organismo. Es indudable que las modificaciones en los ácidos nucleicos de un ser vivo tienen consecuencias dramáticas para su estructura celular y por lo tanto para sus componentes estructurales y funcionales, pero no es responsabilidad únicamente del ADN, se toma en cuenta toda la red de interacciones en las que participa el organismo que lo contiene, es decir, sus distintas formas de acoplamiento estructural, que abarca todas las interacciones celulares, cuando las células tienen como entorno a otras células, pero que su continuo intercambio mutuo es necesario para la realización de la autopoiesis en el organismo. (Maturana y Varela; 1984: 45). Por ello, es ingenuo pensar que la modificación estructural de los genes de una especie vegetal será predecible y controlable porque no se toma en cuenta que una modificación en un componente modifica también toda una red de interacciones celulares. La clave está en la interacción de los componentes, no sólo en el gen modificado, por ello, esta tecnología es sumamente impredecible.

La ontogenia como historia del cambio estructural de un ser vivo particular no se puede entender sin la estructura inicial del organismo que condiciona de qué manera éste podrá interactuar con el entorno y qué tipo de cambios estructurales estimulará en él el medio ambiente. Por otro lado tenemos al ambiente. Un ser vivo nace y se desenvuelve necesariamente en un espacio/tiempo particular con el cual intercambia constantemente energía, materia e información, un ambiente con una complejidad propia y con una organización, ritmos de desarrollo, estructuras y operaciones distintos. Del encuentro de estos dos elementos surge la historia de cambio estructural u ontogenia de una especie, nunca son sólo las determinaciones genéticas del organismo ni tampoco sólo las condiciones ambientales las que determinan las transformaciones de un organismo vivo y su ambiente en el transcurso de su existencia. (Maturana y Varela; 1984: 49). El medio ambiente, como ya se ha argumentado a lo largo de esta sección, no especifica los efectos que ejercerá sobre el ser vivo, es este último el que de acuerdo a su estructura, determina su propio cambio ante ella, de igual manera, los organismos tampoco son fuente de instrucciones para el ambiente son más bien perturbaciones, este punto es nodal a la hora de hacer ciencia:

Como científicos, sólo podemos tratar con unidades determinadas estructuralmente. Esto es: sólo podemos tratar con sistemas en los cuales todos sus cambios están determinados por su estructura, cualquiera que ésta sea, y en los cuales estos cambios estructurales se dan como resultado de su propia dinámica o desencadenados por sus interacciones (Maturana y Varela, 1984, 64)

Los sistemas vivos, aunque parten de una estructura inicial, son sistemas dinámicos determinados estructuralmente pero cuya estructura está en continuo cambio y la forma en la que interactúan cambiará continuamente. Si estos cambios se dan en concordancia o son correspondientes o son compatibles con el mantenimiento de la organización y la identidad de los organismos que componen el ambiente, entonces podremos hablar de que hay acoplamiento estructural entre organismo y medio y por lo tanto hay también adaptación. Si observamos en cambio que las interacciones del ser vivo con su medio resultan destructivas, éste habrá perdido su adaptación. (Maturana y Varela; 1984: 50). ¿Qué tipo de interacciones establecen con su ambiente (en donde estamos los seres humanos incluidos) las plantas de consumo humano que han sido modificadas genéticamente?

En términos de un análisis epistémico, podemos observar que los argumentos esgrimidos por los defensores de los OGM en México eliminan al ambiente como un factor determinante del desarrollo, el tipo de interacción y los efectos que desencadenan las plantas de consumo humano modificadas genéticamente. Esta eliminación es sumamente significativa y sesga la información vertida, este punto ciego se evidencia y a partir de ello es posible hacer una crítica de los fundamentos que sostienen el discurso sobre OGM.

Folguera (2013) señala que en las últimas dos décadas se ha consolidado dentro de la biología una significativa crítica al programa reduccionista. Entre los aspectos problemáticos del abordaje clásico reduccionista dentro de la genética molecular menciona: la complejidad de las relaciones entre genes y proteínas, el genoma como sistema dinámico y jerárquico, la relación entre genes estructurales y reguladores, las interacciones complejas entre genes, la transferencia horizontal de genes y las relaciones entre genes y ambiente. Este autor afirma que la Teoría Sintética de la Evolución desarrollada en los años cincuenta del siglo pasado consideró que la variabilidad genética heredable se origina mediante mutaciones independientes del ambiente, más tarde comienzan a incluirse algunos factores ambientales como desencadenantes de la supervivencia y reproducción diferencial de los organismos, sin embargo el ambiente sigue apareciendo como “exterior” a los organismos e imponiendo

restricciones o problemas. Sin embargo hoy se acepta que el rol del ambiente es mucho más activo en el desarrollo de los organismos y que la epigenética tiene un papel fundamental en este. (Rendón y Folguera, 2012).

3.4 Implicaciones de la propuesta sistémica en el análisis epistemológico de la biotecnología agrícola

Bertalanffy había señalado la importancia de desarrollar una biología “organísmica” es decir, una disciplina científica que considerara la vida como una organización compleja desplegada en distintos niveles, desde los moleculares hasta los niveles macro, y era necesario por lo tanto, comprender los distintos niveles de organización y cómo interactúan entre ellos y no sólo considerar el nivel molecular, tendencia en boga luego del triunfo de la biología molecular con el desciframiento del código genético “La biología no sólo tiene que ocuparse del nivel fisicoquímico o molecular, sino de los niveles superiores de organización viva también” sentenció en 1968 Von Bertalanffy ante la metodología reduccionista que permeó a la biología en su totalidad, toda vez que los fenómenos de la vida fueran reducidos a la biología molecular, pero no sólo fue el reduccionismo, también el mecanicismo influyó de manera importante esta disciplina:

(...) la biología, a la luz mecanicista, veía su meta en la fragmentación de los fenómenos vitales en entidades atómicas y procesos parciales. El organismo vivo era descompuesto en células, sus actividades en procesos fisiológicos y por último fisicoquímicos, el comportamiento en reflejos condicionados y no condicionados, el sustrato de la herencia en genes discretos y así sucesivamente. (...) Es necesario estudiar no sólo las partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultantes de la interacción dinámica de partes y que hacen el diferente comportamiento de éstas cuando se estudian aisladas o dentro del todo (Bertalanffy;1976:31).

En lo que concierne al desarrollo de la genética como una rama de la biología molecular, Bertalanffy señala que la genética antigua a diferencia de la moderna, tendía a considerar a los genes (sustancia hereditaria) como una suma de unidades corpusculares determinantes de las características individuales de los órganos; ahora sabemos que una suma de macromoléculas no puede producir una totalidad organizada tan compleja como el organismo. Lo correcto es afirmar que el genoma en su totalidad produce al organismo en su totalidad. Sin embargo, si bien es cierto que ciertos genes determinan preminentemente la dirección del desarrollo de ciertos caracteres, todo rasgo hereditario es codeterminado por

muchos genes, incluso es posible que sea la totalidad de los genes, a su vez, todo gen influye sobre varios rasgos y sobre el organismo en su totalidad. (Bertalanffy; 1976: 76)

La biología de acuerdo con nuestro autor, ha estado dominada por el empirismo unilateral ya que sólo se consideraba científico el acopio de datos y experimentos, mientras que la teoría era vista como especulativa o filosófica. Sin embargo, el mero acopio de datos y la experimentación, por muy incesantes que sean, no construyen el conocimiento científico. Esta forma de proceder ha tenido como consecuencia la falta de apoyo y reconocimiento para realizar una construcción teórica que beneficie también a la experimentación, misma que se ha hecho al azar. El otro extremo, de acuerdo con nuestro autor, es la excesiva modelización sin tomar en cuenta el referente empírico que ha permeado al campo científico a partir de la disposición de nuevos instrumentos matemáticos y lógicos para la *construcción de modelos*. Y es ante esta falsa dicotomía que Bertalanffy rescata la máxima kantiana: “La experiencia sin teoría es ciega, pero la teoría sin experiencia es un juego intelectual”. (Bertalanffy; 1976: 84)

Bertalanffy también destaca las diferencia epistémica, teórica y metodológica que mantiene la ciencia alemana con respecto a la estadounidense. Mientras que en la biología que se realiza en Alemania se tiene una fuerte noción y propagación de conceptos que provienen de la teoría de sistemas, en la biofísica y fisiología estadounidense no se contemplan conceptos como “sistema abierto”, “estado uniforme” o “termodinámica irreversible. La razón de ello, podría explorarse con el concepto de Marco Epistémico que desarrollan Piaget/Rolando García. La biología estadounidense, afirma Bertalanffy, fue influenciada por los conceptos cibernéticos, por lo tanto, la célula y el organismo son considerados como máquinas (sistemas cerrados), ignorando las importantes aportaciones que tiene la teoría de los sistemas abiertos y cómo ésta nos puede ayudar a comprender/explicar los sistemas vivientes. (Bertalanffy; 1976: 97)

Si consideramos en cambio el mundo como organización (cambio de marco epistémico), cambian todas las categorías básicas que sustentan el pensamiento científico y por lo tanto las prácticas que de él surgen. Esto implica un progresivo reemplazo de la imagen del ser humano fundada por una concepción físico-tecnológica en donde los sujetos son pasivos y reaccionan sólo a estímulos externos, como lo proponía el esquema estímulo-respuesta o

como aquellas propuestas que sugieren que la personalidad y la conducta son conformadas por influencias externas, tampoco es plausible pensar que el comportamiento obedece a un principio utilitario en donde se busca el gasto mínimo de energía mental o vital. Es necesario en cambio, tener en cuenta que los seres humanos no somos receptores pasivos de estímulos que nos llegan del entorno, sino que creamos nuestro universo a través de nuestras acciones y de nuestro lenguaje. (Bertalanffy; 1976: 125)

3.4.1 Lenguaje, percepción y realidad

La cultura, de acuerdo con Bertalanffy, forma parte de un universo creado por los seres humanos, y que está conformado por símbolos que permiten la existencia del lenguaje y la cultura, la conducta por lo tanto, además de responder a necesidades biológicas también está gobernada por entidades simbólicas. Los seres humanos, afirma Bertalanffy, viven en un mundo no de cosas sino de símbolos. (Bertalanffy; 1976: 207,226)

Para Benjamin Whorf (1952), el lenguaje determina lo que un individuo percibe del mundo y cómo lo piensa, las sociedades con distintas formas de construir el lenguaje también tendrán distintas formas de pensar y percibir el mundo, es decir, tendrán visiones del mundo diferentes. Esta afirmación tiene implicaciones fundamentales para la ciencia, quiere decir que los observadores no están guiados por una misma evidencia empírica sino que las coincidencias que puedan sugerir dependerán de las coincidencias lingüísticas que ambos posean. Cuando conocemos, de acuerdo con este autor, segmentamos y organizamos los hechos de una manera particular. Esta manera de hacerlo está determinada por el acuerdo social o las convenciones sociales que surgen con el lenguaje y no porque en la naturaleza el fenómeno esté segmentado de esa manera. Por lo tanto, y de acuerdo con Bertalanffy, el modo de pensar mecanicista es una consecuencia de nuestros hábitos lingüísticos, y de acuerdo con Whorf, si queremos reevaluar los conceptos utilizados en la ciencia es necesario que se amplíe la diversidad de sistemas lingüísticos. (Bertalanffy; 1976: 237)

Al preguntarse por la cognición humana, Bertalanffy analiza los distintos factores que la hacen posible. Ante todo, indica, la cognición depende de la organización psicofísica del hombre. La realidad, afirma, puede ser vista como un enorme pastel del cual los seres vivos cortamos una rebanada que podemos percibir de acuerdo con nuestra constitución fisiológica

y psicológica, a ese trozo es al que podemos reaccionar gracias a la estructura de nuestros órganos receptores y efectores, es decir que los seres vivos de acuerdo a nuestra estructura biológica y cultural determinamos qué clase de perturbaciones se convierten en estímulos y qué clase de reacciones tendremos ante éstos. De la multitud de objetos que integran nuestro entorno, seleccionamos un número reducido de características a las cuales reaccionamos. Todo lo demás es inexistente para el organismo en cuestión. Por lo tanto el conocimiento humano depende en primer lugar de factores biológicos y en segundo lugar de factores culturales, aunque podríamos afirmar que ambos son irreductibles y que determinan simultáneamente el proceso de construcción de conocimiento. (Bertalanffy; 1976: 245)

La percepción está determinada, de acuerdo con Bertalanffy por nuestra organización psicofísica y por las categorías lingüísticas y culturales, que si bien no alteran las potencialidades en la experiencia sensorial, si modifican qué rasgos de la realidad experimentada serán enfocados y subrayados y cuáles serán rechazados, ignorados o carecerán de significación. Lo que se ve, continúa el autor, depende de nuestra selección que varía de acuerdo a nuestros intereses, que a su vez están determinados por los símbolos lingüísticos mediante los cuales representamos la realidad. La estructura del lenguaje, afirma el autor, codetermina qué rasgos de la realidad serán abstraídos y con ello qué tipo de formas adoptarán las categorías del pensamiento pero también el cómo sea visto el mundo determina y forma el lenguaje, la influencia es recíproca. (Bertalanffy; 1976: 248, 250)

Nuestro pensamiento, de acuerdo con Bertalanffy (1976, 264), que se expresa en un lenguaje occidental, opera en términos de opuestos, esto queda claro toda vez que encontramos contradicciones y dicotomías en distintas teorías como ha ocurrido a lo largo de la historia de la ciencia, pero este rasgo refleja la parcialidad con la que percibimos el mundo, la realidad, afirma nuestro autor, en última instancia es una unidad de opuestos. Esto implica que la validez de las afirmaciones científicas es relativa al punto de vista desde el cual se observa, y es necesario y debe ser complementada con los enunciados antitéticos que le correspondan. En el caso de nuestro análisis el principal enunciado antitético es el papel del ambiente en la estructura genética de los organismos así como el entramado de relaciones y *emergencias* que se generan entre éstos. Esta perspectiva representa una antítesis a la postura de la que parte la biotecnología según la cual es posible transferir información genética de

una especie a otra sin que se generen *emergencias* y transformaciones cualitativas y cuantitativas significativas para el funcionamiento e interacción de dicho organismo.

3.3 El Campo cognoscitivo

En esta sección analizaremos el papel de la cognición en la ciencia. Recordemos que Piaget caracteriza a la ciencia como una “institución social, un conjunto de conductas psicológicas y un sistema sui géneris de signos y de comportamientos cognitivos” y enfatiza que un análisis racional del desarrollo de la ciencia deberá tratar conjuntamente los tres aspectos. (García, 2000; 15)

El concepto de conocimiento está representado por aquellos comportamientos cognoscitivos y de actividades que la propia sociedad coordina y califica como tales. Es importante recalcar que la epistemología constructivista tiene como referente no al individuo aislado sino a la sociedad en la cual está inserto (García; 2000: 15).

Recordemos también que el objetivo principal de la investigación es hacer una reflexión epistemológica sobre el discurso de divulgación científica en torno a los OGM en México dentro del marco de la epistemología constructivista por lo tanto el componente cognitivo al igual que el social están presentes en dicha reflexión. La epistemología constructivista se caracteriza por el estudio de los procesos de construcción de conocimiento científico, designando a éste como aquellos comportamientos, situaciones y actividades que son socialmente considerados como teniendo carácter cognoscitivo (García; 2000: 16).

En ese mismo sentido la epistemología constructivista propone analizar la producción de conocimiento científico como un sistema complejo en el que interactúan factores heterogéneos agrupados en al menos tres niveles: biológico, psicológico y social. Los factores cognoscitivos están influidos por estos tres factores tal como se explicita en el capítulo II.

Para el análisis del aspecto cognoscitivo hemos elegido la propuesta de *campo cognoscitivo* de Amozurrutia (2016) ya que representa de manera gráfica y procesual los distintos mecanismos cognoscitivos que se emplean a la hora de interactuar con un objeto cognoscible.

Un campo cognoscitivo (Amozurrutia; 2016) es un modelo de análisis de trayectorias cognitivas de actores sociales. La noción de *campo* es retomada del concepto de campo social de Bourdieu quien lo define como “un espacio social de acción y de influencia en el que confluyen relaciones sociales determinadas”. El autor define al campo social como: “espacio donde operan fuerzas bio-físicas, afectivas y lógicas de interiorización y exteriorización respecto al ámbito y contexto sociocultural de los actores en juego”. Un campo se caracteriza por estar sujeto a distintos tipos de fuerzas que forman una red con tensiones dinámicas.

El campo cognoscitivo es una integración de la teoría de Piaget con la actividad asociada a actores sociales en interacción. Está organizada como sistema complejo, es decir como una totalidad relativa y *semidescomponible* a la que se le adjudican elementos y relaciones con atributos como la autodefinición y la autoorganización. (Amozurrutia; 2016, 5)

El campo cognoscitivo es un esfuerzo por operacionalizar la propuesta de Piaget y García. Este modelo está orientado al análisis de problemáticas psico-socio-culturales que enfrentan lo complejo y asumen el reto de diseñar y definir nuevas categorías de análisis.

Para comprender a cabalidad su noción de Campo Cognoscitivo, Amozurrutia (2016) propone una serie de conceptos previos. El primero de ellos corresponde a la diferenciación sistema/entorno. Define sistema como “un conjunto de elementos/relaciones organizados como estructuras/procesos que tienen una determinada dirección y rumbo dentro de un medio o contexto con quien cohabita”. (Amozurrutia; 2016, 8)

En una interesante analogía con el modelo de la célula, Amozurrutia (2016, 13) detalla que su modelo de campo cognoscitivo tiene una dinámica axiológica, como conjunto de principios y posturas que se asumen, que se encuentra en el núcleo, la metodología que está representada en los organelos y la delimitación epistémica que constituye la membrana del modelo comparado con una célula y permite al modelo delimitar fronteras y acoplarse con otros sistemas.

El campo cognoscitivo es considerado como un sistema abierto en el que necesariamente hay un flujo de materia/energía/información entre el sistema y el entorno que configura y determina la organización de los elementos y relaciones de ambos.

La estrategia general para la conformación del campo cognoscitivo es identificar, diferenciar y subdividir formas y modos de materia/energía/información que conforman y transforman el campo de fuerzas que representan las actividades cognoscitivas de los actores sociales de interés. Las formas de energía son operaciones cognoscitivas. (Amozurrutia; 2016, 17)

El campo cognoscitivo permite comprender formas de interacción entre actores sociales y es posible modelarlas a través de flujos de acciones, información, hechos y comunicaciones. Las distintas formas de materia/energía tendrán distintos valores, establecidos por el investigador, de manera que es posible formar *gradientes* entre los diferentes mecanismos cognitivos que se identifiquen en los actores sociales en cuestión pero también propicia relaciones, tipos de organización, interacción, articulación, etc. (Amozurrutia; 2016, 22)

La interacción entre operaciones cognoscitivas puede dar lugar a *emergencias*, nuevas combinaciones de fuerzas, lo que constituye fases, niveles, zonas estructurables y zonas estructurantes dentro del proceso general de construcción de conocimiento, es decir, formas de organización en códigos, funciones y procesos. (Amozurrutia; 2016, 23)

Siguiendo el *principio de continuidad funcional* de Piaget, el modelo del campo cognoscitivo asume que todo actor social utiliza los mecanismos cognitivos que emplea el campo, pero con diferenciaciones en la forma de organizar y estructurar los procesos constructivos de conocimiento. Las principales distinciones se realizan al momento de asimilar/acomodar nuevos elementos del entorno. La forma de realizar esta operación varía de acuerdo al contexto sociohistórico y cultural en el que se encuentren los sujetos cognoscentes (Amozurrutia; 2016, 24)

Las primeras zonas que se pueden identificar en el campo corresponden a las fases de interiorización y exteriorización que ocurren durante la construcción de conocimiento. En la fase de interiorización los sujetos asimilan y acomodan, incorporando y transformando, nueva información del medio, que ya han interpretado incluso desde la propia percepción. Mientras que la segunda fase, de exteriorización los sujetos comunican la información construida en la fase de interiorización. Esto no quiere decir que se esté haciendo una separación tajante entre el individuo y la sociedad. Puede surgir la idea de que el conocimiento se construye por un solo individuo o por grupos especializados y que luego

este conocimiento se transfiere al resto de la sociedad. Estamos contra esta idea, el sujeto que conoce (porque tampoco podemos recurrir a una suerte de entelequia invisible y sumamente abstracta y ambigua a la que llamamos *sociedad*) tiene nombre y apellido, está inserto en una cultura, comparte una serie de valores, axiomas, posturas ontológicas e ideológicas que codeterminan su forma de construir e interpretar el mundo (Amozurrutia; 2016, 27)

En la fase de interiorización, predominan mecanismos cognitivos que integran, asimilan, incorporan nueva información como resultado de la interacción entre el sujeto cognoscente y el objeto cognoscible. La fase de exteriorización por formas de transformación de los mecanismos cognitivos que permiten generar formas de comunicación y de respuesta, en la que se reconstruye o reformula la información. En ambas fases hay transformación cognitiva. La fase de interiorización está asociada a los conceptos de comprensión, subjetividad, pensamiento, etc., mientras que la de exteriorización está asociada a los conceptos de explicación, al lenguaje, la acción y al objeto (Amozurrutia; 2016: 28)

Los procesos de transformación cognitiva son el resultado de *emergencias* permanentes debido a las interacciones entre el sistema y su entorno en donde hay flujos de intercambio de materia/energía/información. Estos procesos se encuentran en la intersección entre las fases de interiorización y exteriorización y constituye una zona de interfase o transición y en donde surge una transformación de sentidos entre ambas. En esta interfase es necesaria la construcción de nuevos elementos/relaciones que permitan el ir y venir entre ambas fases (Amozurrutia; 2016, 32)

De acuerdo con Amozurrutia (2016) existen dos tipos de procesos de racionalización: una sintética y otra analítica. A la primera la define como “un conjunto de funciones de continuidad desde la asimilación de observables percibidos en el dominio biofísico, hasta su organización a través de funciones de abstracción empírica y reflexiva, que configuran un proceso de interiorización sistémica”; mientras que las segundas son definidas como “un conjunto de funciones concatenadas que parte de generalizaciones completivas e inductivas, y se orientan hacia la acomodación de asimilaciones previas dentro de una fase de exteriorización sistémica (Amozurrutia; 2016,36).

El proceso de construcción de conocimiento es el resultado de la conjugación de macroprocesos que van de la asimilación de materia/energía/información que ingresan al sistema cognoscitivo, y se va transformando mediante las abstracciones empírica y reflexiva que operan en forma concomitante con los procesos de generalizaciones inductivas y completivas y se exteriorizan mediante procesos de acomodación. Todas estas transformaciones requieren de procesos de equilibración sustentados por operaciones de regulación y compensación, dentro de procesos de reestructuración permanente. Las transformaciones cognoscitivas implican la construcción de nuevas formas de observar o valorar un observable, modificaciones en las relaciones empíricas o el establecimiento de nuevas relaciones de implicación o lógicas (Figura 1) (Amozurrutia; 2016,39).

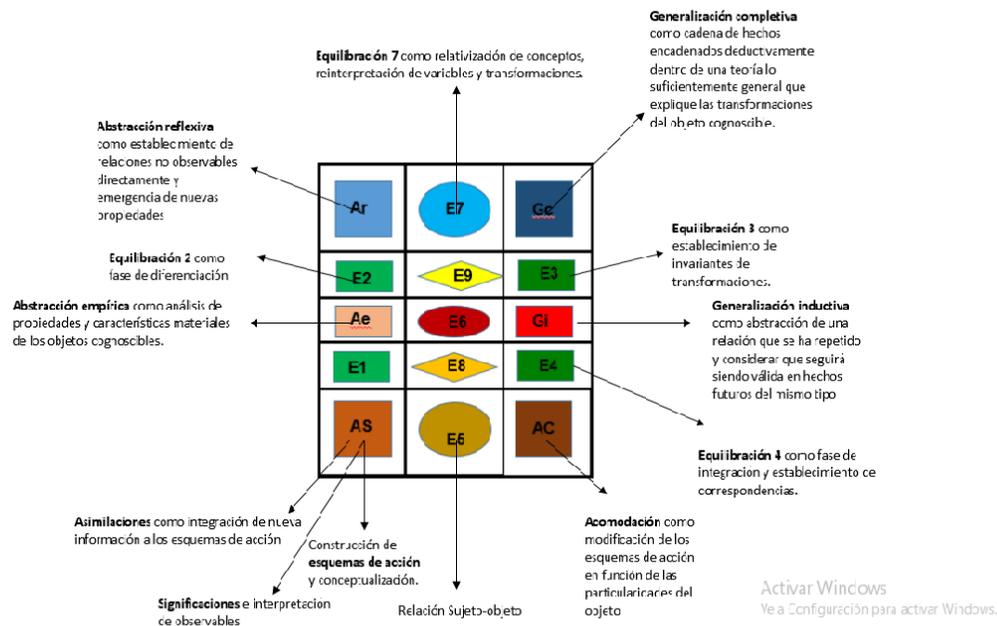


Fig. 1 Modelo de Campo Cognoscitivo. Fuente: Elaboración propia a partir de Amozurrutia (2016,147)

La representación gráfica del modelo de Campo Cognoscitivo nos permite trazar rutas cognitivas de los actores sociales de nuestro interés, en este caso, trazaremos una propuesta de la ruta cognoscitiva de una selección de comunicaciones científicas de divulgación en torno a los OGM en México de acuerdo a los mecanismos que pudimos identificar. También con este modelo es posible ubicar niveles de profundización en cada operación cognoscitiva:

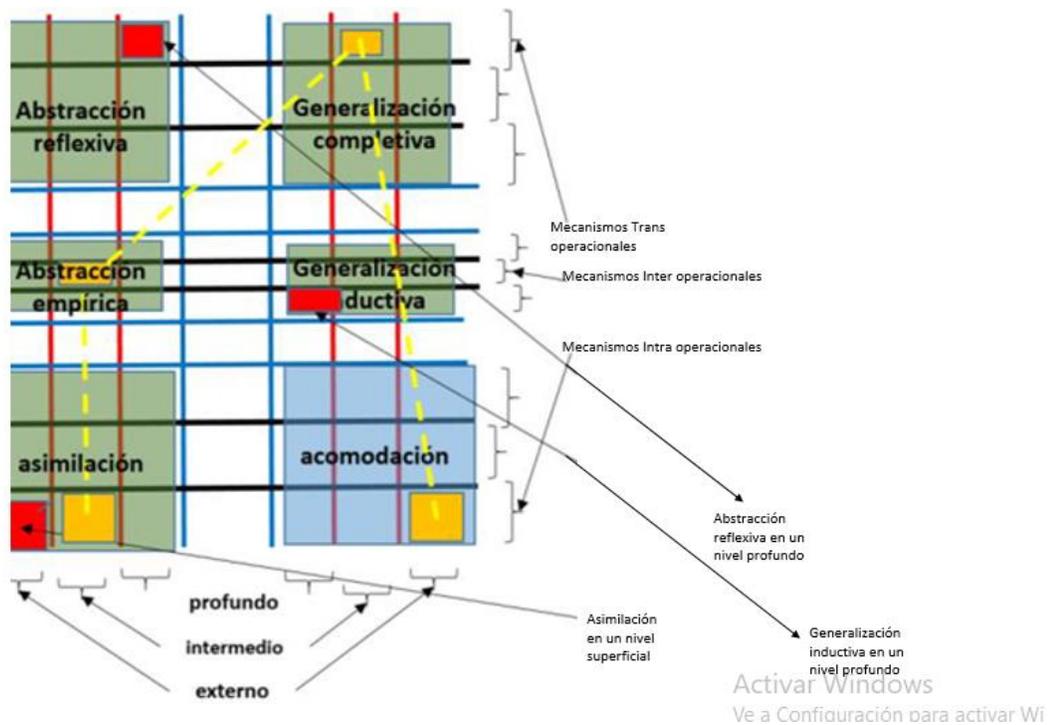
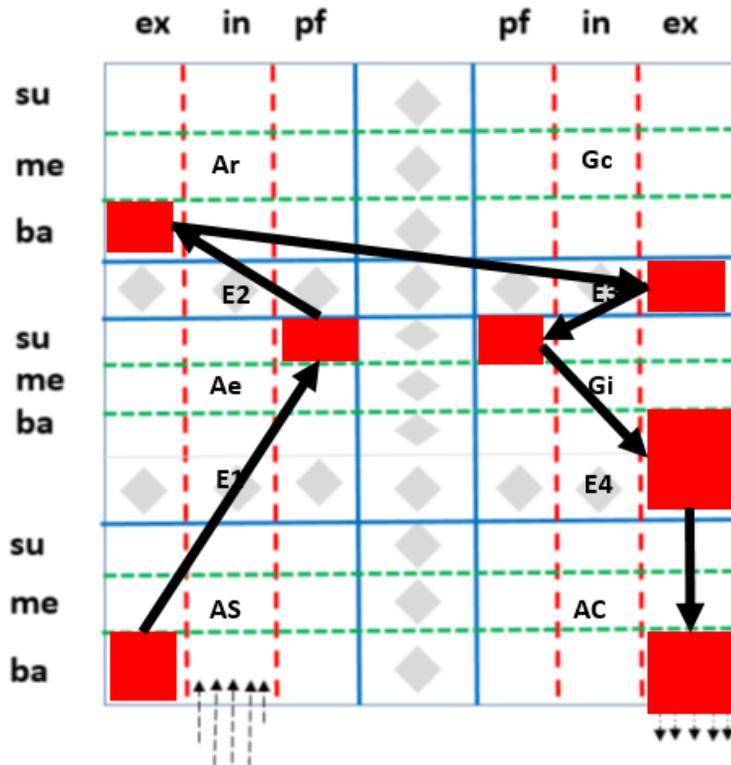


Fig. 2 Zonas y niveles del campo cognoscitivo. Fuente: elaboración propia con base en (Amozurrutia, 2016, 89)

Podemos observar en la Figura 2 que en cada zona cognoscitiva hay niveles (profundo, intermedio y externo o superficial). Cada mecanismo cognoscitivo puede ser planteado desde estos niveles de acuerdo a las consideraciones del investigador y siempre teniendo como base las propuestas de la figura 1. Asimismo en esta figura podemos ubicar gráficamente las zonas operativas de los mecanismos Intra, Inter y Trans que abordamos en Cap. II de esta investigación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, nuestra propuesta de trayectoria cognoscitiva para el discurso científico de divulgación de Bolívar Zapata (2004, 2011, 2013, 2017), Herrera Estrella (2004); López-Munguía (2004) es la siguiente:



Explicación: En la zona de asimilación, hay una incorporación superficial de nueva información en torno a los OGM en México, la mayoría de la información que no concuerda con los esquemas conceptuales previos es negada o rechazada, por lo tanto observamos que la trayectoria no pasa por la EQ1, que es la zona de equilibración entre la asimilación y la acomodación. Como evidencia de ello tenemos:

(...)se reitera que al día de hoy no existe una sola evidencia de daño por el uso de organismos transgénicos y su productos; todos los señalamientos y publicaciones de supuestos daños a la salud, al medio ambiente o a la diversidad son infundadas o carecen de sustento científico válido (Bolívar Zapata et al., 2017:19)

Lo preocupante aquí es que se considera que la totalidad de la validez científica y la razón se encuentra de lado de los promotores de esta tecnología en tanto los detractores no cuentan con ningún argumento que se pueda considerar dentro de los análisis y discusiones que se emiten dentro de las comunicaciones científicas. Esta actitud cierra el diálogo y el sano debate en el que se desarrolla la ciencia. Es a través de las hipótesis y posturas contradictorias

que se enriquece y se renueva la ciencia, mientras que la uniformidad y homogeneidad de propuestas la debilita (Feyerabend, 1986).

La negación o rechazo de las propuestas contrarias a la visión que sostienen los promotores de la tecnología recombinante ha sido patente en casos como el de Chapela y Quist en 2001, quienes encontraron evidencia de contaminación genética de maíz producido por la empresa Monsanto en una región agrícola de Oaxaca; o en el caso del artículo del bioquímico y biólogo molecular francés Eric Séralini quien en 2012 publicó un artículo en el que se demuestra a través de un experimento con ratas los efectos de la ingesta de maíz fabricado por Monsanto, maíz que fue sembrado con un pesticida llamado glifosato.

El estudio consistió en alimentar a doscientas ratas con el maíz modificado genéticamente NK603 durante dos años. Se dividió a las ratas en distintos grupos, en el primero se alimentó a las ratas con maíz MG, en el segundo se incluía agua con dosis bajas del herbicida Roundup y los grupos control, es decir, aquellos que servirán de comparativo. De acuerdo con los resultados hubo de dos a tres veces más mortalidad, y mortalidad más rápida entre hembras de ambos grupos en comparación con las del grupo control. En la mayoría de los casos las hembras desarrollaron importantes tumores mamarios y más tempranamente y con mayor frecuencia que los grupos control. En los machos, las congestiones y necrosis hepáticas fueron de 2.5 a 5.5 veces más comunes, mientras que las nefropatías renales graves fueron de 1.3 a 2.3 veces más frecuentes que en los grupos control. Se observaron en ellos tumores palpables hasta cuatro veces más grandes que en los grupos control, y hasta seiscientos días más tempranamente. Los autores concluyen que estos resultados pueden ser explicados por el efecto perturbador no lineal en el nivel de hormonas endócrinas causado por el herbicida Roundup, aunque también por la sobreexpresión del transgén correspondiente al OGM estudiado y sus consecuencias metabólicas (Piron y Varin, 2015).

Con respecto al caso Séralini, McCugen (2015) comenta:

Cuando los resultados de un experimento no reflejan lo que observamos en el mundo real, los científicos saben que el diseño del experimento o su interpretación están mal e intentan corregirlo. Séralini insiste en que sus experimentos e interpretaciones son correctos, la realidad es que están mal. (McCugen, A. 2015, en Bolívar Zapata et al., pp. 135-136)

El problema fundamental que resulta de negar la validez de un experimento que cuestiona la inocuidad del maíz modificado genéticamente es que se cierran las posibilidades de conocer más a fondo la dinámica de interacción de estos organismos. Los conceptos como *duda razonable* o *principio precautorio* no se toman en cuenta cuando se desechan las posturas que contradicen la inocuidad de los alimentos transgénicos, además la noción de infalibilidad se asoma de manera peligrosa y dogmática (Muñoz, 2018).

Después en la zona de abstracción empírica hay una trayectoria importante ya que en la mayoría del discurso científico de divulgación se hace referencia a propiedades físicas y constatables de los objetos. La zona de generalización inductiva es la zona más fuerte debido a que en la mayoría de las argumentaciones se hace este tipo de operación cognoscitiva. Por ejemplo cuando los argumentos que se utilizan para la promoción de transgénicos trazan una línea de continuidad entre las prácticas ancestrales de agricultura y la biotecnología moderna, argumento con el cual buscan probar la inocuidad de los OGM:

(...)La biotecnología es, pues, una tecnología amigable con la salud, con la biota y con el medio ambiente que se ha usado en México desde tiempos prehispánicos (Bolívar, 2017: 32)

El ser humano lleva cerca de 10 000 años manipulando el genoma de plantas y animales, tanto para la producción de alimentos como por motivos de recreación. (Herrera Estrella, 2004; 48)

La zona de abstracción reflexiva se toca de una manera muy superficial ya que si bien se consideran interacciones entre los elementos, éstas tienen un carácter local, no se mencionan propiedades emergentes como resultado de interacciones ni tampoco hay transformación de contenidos e interpretaciones en contextos más amplios. No se toca la zona de generalización completa debido a que no se han reformulado o reconstruido las argumentaciones de este científico, asimismo, no toma en cuenta las adecuaciones que se le han hecho a la teoría (Dogma central de la biología molecular) y por lo tanto hay una acomodación bastante superficial en torno a este tema, ya que el concepto de ARN y sus nuevas interpretaciones prácticamente no se mencionan dentro del discurso y como no hay una teoría que permita explicar los procesos de transformación de los organismos como resultado de su interacción con otros, tampoco hay reinterpretación de observables asimilados. Por otra parte también vemos que se pasa por las zonas de equilibración E3 y E4 que corresponden a las fases de integración y constatación de invariables de transformaciones debido a que se realiza un número importante de correspondencias entre las dinámicas evolutivas y la construcción de

OGM por una parte y se considera de manera recurrente la universalidad del material genético en los seres vivos por otra.

Muñoz (2018) considera que la biotecnología se fundamenta en pretensiones de universalidad inexistentes. Es equivocado pensar que la ciencia siempre se ocupa de elaborar leyes universales afirma. Dentro de la historia de la ciencia la formulación de leyes universales fue sumamente productiva y benéfica en física clásica desde el siglo XVI hasta el XIX aunque la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad modificaron esa pretensión. Pero no es la única forma de hacer ciencia, la ciencia también se ocupa de las excepciones, de principios con aplicabilidad en contextos específicos, especialmente en las ciencias de la complejidad como la biología en donde el estudio de sistemas complejos no podrían formularse las pretensiones de universalidad dada la imposibilidad de determinar una regularidad en los fenómenos que se quiere conocer debido a la diversidad de interacciones (Muñoz; 2018).

Conclusiones

Para concluir recordaremos las preguntas que nos formulamos al inicio de la investigación y las correspondientes respuestas a las que pudimos arribar al final:

- a) ¿Cuáles son las premisas y supuestos de los que parten los investigadores en biotecnología agrícola para producir conocimiento enfocado a la creación de OGM en México?

En primer lugar parten de una postura reduccionista. Existe una necesidad metodológica de aislar algunos fenómenos del mundo para poder manipularlos y estudiarlos y considerar que las descripciones que de allí resultan corresponden completamente con la realidad. El reduccionismo también implica desde un nivel teórico, describir el mundo con la menor cantidad de leyes y variables y la suposición de que existe un orden de prioridad en el que las partes más pequeñas bastan para explicar las prioridades del universo (Jardón, 2014, 337)

El reduccionismo puede ser entendido como el componente ideológico dentro del discurso científico en la biología que refleja una visión del mundo dominada por la competencia o por

la noción de que existen genes que “gobiernan” los procesos celulares, moléculas que se autorepican. También la visión reduccionista como ideología, se hace evidente en la manera en que se establece la relación lineal y unidireccional entre gen-organismo, organismo-ambiente, agricultura- sociedad y ciencia-sociedad.

La idea de que un gen es el causante único y exclusivo de una característica es la expresión de una visión reduccionista que supone que los rasgos de un individuo o una especie están determinados por genes particulares. Este axioma afirma que un organismo es un conjunto de genes en donde cada uno tiene una finalidad específica. Esta visión supone que los seres vivos son exclusivamente lo que producen sus genes. Las tres premisas de este paradigma en biología son:

- 1) Un gen produce una característica determinada en un ser vivo
- 2) Ese gen sirve para una función en particular
- 3) Los seres vivos son el resultado exclusivo de la acción independiente de los genes que contienen.

Estas premisas son reduccionista ya que ignoran el papel del ambiente en el desarrollo del organismo, las propiedades emergentes que resultan de sus interacciones, la autoorganización y la epigenética (Jardón, 2014, 354)

- b) ¿Cuál es el proceso histórico/social que permitió la generación de conocimiento aplicado a la creación de OGM?;

La historia de la ingeniería genética comienza con la biología molecular. La biología molecular nace gracias a la adopción de los métodos provenientes de la física y la química, este proceso es conocido como la “molecularización de la biología”. Debido a que se consideraba que la biología se encontraba muy por debajo de los criterios de científicidad empírica y cuantificación rigurosa imperantes en la física y en la química, los biólogos acudieron a la búsqueda de modelos experimentales físicos y químicos con los cuales desarrollar sus investigaciones.

De esta manera, el tipo de problemas y soluciones que se plantean los biólogos se transforma radicalmente a partir de la migración de intelectuales del continente europeo hacia Estados

Unidos desilusionados por los resultados desastrosos del lanzamiento de la bomba atómica en la Segunda Guerra Mundial. Niels Bohr declaró en este mismo sentido que los problemas que le quedan por resolver a la física son pocos comparados con aquellos que involucran a la materia viva (Barahona, 2004, 13)

Desde finales del siglo XIX hubo una fuerte tendencia a dividir el cuerpo en organismos en tantas partes como fuera necesario hasta encontrar las partes esenciales que provocaban el fenómeno de la vida. Este paradigma condujo al desarrollo de la genética. Es a partir de aquí que los genes y los nucleótidos han sido considerados como las partes esenciales del mundo vivo. En consecuencia los organismos son concebidos como el resultado de la suma de esas partes esenciales (Muñoz, 2004, 103)

- c) ¿Qué mecanismos cognoscitivos utilizan los investigadores a favor de los OGM en México para construir sus argumentaciones?

Los instrumentos básicos de construcción de conocimiento que utilizan los investigadores son:

- 1) Abstracción empírica: está referida a los objetos exteriores en los cuales el sujeto constata ciertas propiedades, características o hechos que son separados de los otros para analizarlos independientemente.
- 2) Abstracción reflexiva: está referida a las acciones y operaciones del sujeto en donde lo que es abstraído en un nivel se reconstruye en otro nivel, por ejemplo de la acción a la representación o de la representación a la conceptualización, etc.
- 3) Generalización inductiva: proceso que conduce a la constatación de hechos singulares repetidos, a nociones, conceptos o leyes generales, o bien, a partir de hechos constatados durante un intervalo de tiempo, significa abstraer una relación que se ha repetido y considerar que seguirá siendo válida en futuros hechos del mismo tipo.
- 4) Generalización completiva. Su desarrollo consiste en un progresivo reemplazo de constataciones de hechos y de sus resultados obtenidos a través de abstracciones empíricas, por reconstrucciones que implican inferencias y ponen en juego nuevas formas de organización que concluyen en un conjunto de relaciones encadenadas deductivamente.

A la luz de este análisis epistemológico es necesario debatir el dogma bajo el cual se funda la biotecnología, a saber, la certeza de que “cualquier material de tipo genético está estructurado exactamente igual, se compone de los mismo elementos y funciona igual sin importar de qué organismo se trate.” (Bolívar, 2004, 61) Esto es posible gracias a que se ha puesto en duda desde hace décadas la posibilidad de construir conocimiento exclusivamente a partir de las observaciones sensoriales, uno de los aportes fundamentales de Maturana y Varela y de Piaget y García es precisamente este cuestionamiento.

Los planteamientos de la epistemología constructivista y la crítica al reduccionismo científico nos permiten afirmar que no es posible conocer con precisión cuáles serán los efectos de la introducción de genes en especies distintas, es decir, no es posible prever su comportamiento, funcionamiento y dinámica de interacción y transformación en periodos largos de tiempo es decir, décadas o siglos. (Muñoz, 2004, 264). Y es que el propio Bolívar (2017) admitió que el periodo máximo de tiempo que transcurre en la experimentación con ratones para verificar que no hay daños en su salud es de tan solo 90 días.

El objetivo último de este análisis es cuestionar las bases epistémicas de una práctica científica con el objetivo de transformar primero nuestros esquemas mentales y luego nuestros esquemas de acción de tal manera que podamos construir otros horizontes epistémicos que nos permitan generar una red de interacciones no invasivas ni mutilantes entre los seres humanos y todas las otras formas de vida que nos rodean.

La noción de predictibilidad, sobre la cual se basan muchos de los discursos científicos de divulgación en defensa de OGM en México es falsa ya que como observadores podemos no estar en condiciones de conocer lo que es necesario conocer en el operar un cierto sistema para que una afirmación predictiva sea posible en él. Esta limitación es epistémica, es conceptual, es perceptiva y por lo tanto es también predictiva.

Por otra parte las propuestas teóricas y prácticas de la biotecnología agrícola invisibilizan doblemente al sujeto. Por una parte, eliminan a las comunidades como participes de la construcción y protección de la biodiversidad y por otra, eliminan el papel del sujeto en la construcción de conocimiento que hace posible la creación de OGM. Eliminan al sujeto porque no se reconoce el papel constructivo que tienen los sujetos al observar la naturaleza,

no existen los datos puros, nuestros mecanismos cognitivos intervienen ya desde la propia percepción. Por otra parte se elimina el papel activo del ambiente en el desarrollo de los organismos ya que se pretende que determinados genes funcionen de la misma manera en distintos organismos insertos en distintos ambientes.

Los soportes teóricos de la biotecnología agrícola omiten la reestructuración que ha tenido el llamado *Dogma Central* de la biología molecular, que en sus inicios fue formulado por Francis Crick, -quien junto con James Watson, propusieron que el ADN es una molécula de doble hélice y se ganaron el premio nobel de medicina en 1962¹⁵- propuso que existía una evolución lineal en el proceso de “transcripción” del ADN (donde se propone que se encuentra la información) en el ARN y su “traducción” a proteínas. Según esta propuesta, existía una relación uno a uno entre los genes y las proteínas, es decir, cada gen codificaba para una sola proteína a través del proceso de traducción llevado a cabo por el ARN. Con esta propuesta teórica, se pueden diseñar metodologías e instrumentos para la construcción de OGM ya que les permite extraer genes específicos que le otorguen características deseadas al organismo huésped. Sin embargo esta versión del Dogma ya se ha transformado, toda vez que se pudo constatar que el proceso de traducción de ADN a proteína no es lineal, ya que un gen puede modificar para varias proteínas y una sola proteína puede ser codificada por varios genes, asimismo se constató que el ARN también puede replicarse a sí mismo y que existen distintos tipos de éste, como el ARN mensajero o el ribosomal. Además ahora se sabe también que el ARN puede crear ADN a través de un proceso conocido como transcripción reversa o retrotranscripción.

Por otra parte, el discurso científico asociado a los OGM parte de tradiciones reduccionistas a partir de las cuales se construye un tipo de explicación caracterizada por la linealidad y el determinismo de tipo causa-efecto. Así mismo, en este tipo de discurso está presente una postura ontológica asociada con un realismo “fuerte” o “metafísico” que sugiere que los objetos existen independientemente de nuestro conocimiento y constituyen una totalidad determinada, por lo que habría una única descripción verdadera y completa del mundo. En el

¹⁵ Es de suma importancia mencionar que hubo una participación nodal de la cristalógrafa Rosalind Franklin, ya que fue precisamente su técnica de difracción con Rayos X la que permitió obtener imágenes de la estructura de doble hélice del ADN. Increíble e injustamente no recibió reconocimiento por ello. Este pasaje histórico constituye una prueba, entre otras, de la existencia de esquemas de pensamiento y acción machistas y patriarcales dentro de la ciencia, pero esto es tema de una investigación posterior.

caso de la biotecnología agrícola, sus fundamentos teóricos, están basados en una concepción reduccionista ontológica ya que presupone que los organismos biológicos están constituidos sólo por moléculas y sus interacciones, por lo tanto al conocer éstas se podrá conocer al organismo en su totalidad. (Folguera, et. al., 2014)

En cuanto a los aspectos metodológicos (que son la puesta en operación de los presupuestos teóricos y éstos a su vez se derivan de posturas epistémicas y compromisos ontológicos) tenemos que la biotecnología agrícola para la producción de OGM se basa casi exclusivamente en la experimentación artificial en el laboratorio, esta noción puede ser identificada con una tradición empirista. (Folguera, et. al., 2014)

Otro problema que es posible identificar a través del discurso científico asociado a los OGM en México es el problema de las escalas y los niveles. La biotecnología agrícola, al basarse en algunos de los postulados de la biología molecular, analiza la composición de los organismos a una escala molecular e ignora y excluye otros análisis que provienen no sólo de otras corrientes dentro de la biología sino de otras disciplinas que pudieran estudiar los efectos de los OGM en otras escalas y otros niveles. Pero aún en la escala a la que se refieren los biotecnólogos, hay distintos niveles tales como el molecular, genético, celular, organismico, ecosistémico, social, etc. Si bien las escalas y los niveles pueden tener un tipo de organización jerárquica y un conjunto de estructuras y funcionamientos independientes, ello no implica que existan escalas prioritarias o determinantes en sí mismas, la creencia de que un nivel está por encima de los demás es denominada como “fundamentalismo” (Folguera, et. al., 2014) y de allí se desprende que la postura epistémica y ontológica de los biotecnólogos tenga estas características.

Dentro de la visión clásica y reduccionista de la genética molecular, hay diversos problemas de índole epistemológica que son sistemáticamente eliminados de la producción teórica y metodológica de la biotecnología agrícola, entre ellos están la complejidad de las relaciones entre genes y proteínas, el genoma como sistema dinámico, la relación no lineal entre genes y proteínas, las interacciones complejas entre genes, la transferencia horizontal de genes, la relación compleja entre el genotipo y el fenotipo o la expresión génica diferencial a lo largo de la ontogenia, entre otros. Como podemos observar, estas problemáticas surgen a partir del paradigma sistémico y de la complejidad, y ponen en el centro el problema de las

interacciones entre elementos a diferentes escalas y en diferentes condiciones de contorno o ambientales. La teoría de los sistemas complejos ya se está aplicando a esta problemática, por ejemplo, Haanahan (2000) (cit. En Folguera et. al., 2014), propone que es necesario conceptualizar a la célula como un sistema complejo, es decir, que las relaciones entre la célula y el organismo están conectados y son interdependientes. Esta postura epistemológica tiene implicaciones que sencillamente echarían por tierra todas las ideas que subyacen en la producción teórica y metodológica de la biotecnología porque como se ha expuesto a lo largo de la investigación la postura que se encuentra en la base de las construcciones teóricas y metodológicas de la biotecnología agrícola es el reduccionismo.

Dentro del discurso científico asociado a los OGM en México es posible identificar una serie de compromisos ontológicos en torno a la tecnología. Por ejemplo, la noción de las innovaciones tecnológicas como reflejo de un progreso incesante e irrefrenable, o aquellos discursos que dibujan metáforas acerca de los progresos de la ciencia que permiten superar o rebasar “fronteras o barreras”. (Folguera, et. al., 2014) Por ejemplo, es frecuente escuchar que la biotecnología agrícola supera las barreras impuestas por la naturaleza al permitir la inserción de genes de una especie a otra.

La biotecnología agrícola tiene, en buena medida, una visión economicista, en donde la ganancia aparece como el valor más deseable, y por otro lado está la idea del determinismo tecnológico que considera que el avance inexorable de la tecnociencia, debido a su eficacia creciente y progresiva es el motor que permitirá al hombre el dominio de la naturaleza. A su vez también se asume que la tecnología es una fuerza externa que se rige por sus propias reglas y que es independiente a la sociedad y que impacta sobre ella de manera unidireccional. (Folguera, et. al., 2014)

Folguera et. al., afirma que “El discurso de los especialistas en biotecnología (...) presenta a los OGM como inherentemente progresivos, asumiendo y reforzando la noción de que esta tecnología representa un bien en sí mismo”.

Podemos identificar también una tradición positivista dentro del discurso asociado a los OGM, ya que se presenta al tecnocientífico como mero descriptor del mundo, “una especie de espejo cuyo rol es el de reflejar lo que acaece”. (Folguera, et. al., 2014)

Asimismo es necesario reconocer el vínculo existente entre dos elementos que han sido separados de forma sistemática, es decir, las representaciones científicas de la naturaleza y los intereses políticos. Es necesario identificar de qué modo la forma de construir conocimiento se relaciona con los fundamentos políticos y los tipos de organización social y con posicionamientos en torno a éstos. No existe la neutralidad en la ciencia, la ciencia y la tecnología son conocimientos socialmente contruidos, es decir, que siempre están insertos en contextos históricos, sociales y culturales particulares y no están exentos de controversias, conflictos, intereses e incertidumbre. (Folguera, et. al., 2014)

Podemos afirmar que los biotecnólogos tienen un largo camino por delante en cuanto al desarrollo de los mecanismos constructivos de conocimiento se refiere, ya que los sujetos permanecen en la etapa intra-operacional en tanto que sus construcciones conceptuales o sus esquemas de acción permanezcan con un carácter local y ligada a ciertos contenidos. La construcción de generalizaciones está más cerca de la etapa inter-operacional, estas generalizaciones ocurren cuando los esquemas de acción y conceptualización son utilizadas como instrumentos cognoscitivos para el análisis de contenidos variados. El periodo trans-operacional ocurrirá cuando los esquemas de acción se coordinen para construir nuevos esquemas más generales que contengan a los anteriores, se puede sintetizar como el proceso que consiste de pasar de las relaciones simples a las relaciones entre relaciones. Por lo tanto, las prácticas de conocimiento ligadas a la biotecnología agrícola se encuentran en una fase intra-operacional e inter-operacional, pero no llegan a la fase trans-operacional.

En un grado de desarrollo inferior de conocimiento, los únicos hechos considerados como tales son aquellos que se consideran medibles, a partir de ellos se construyen estructuras lógicas. Esta situación evidencia una limitación particular, puesto que impide la inferencia y la construcción de posibles.

Por último, en el discurso científico de divulgación asociado a los OGM en México, haciendo énfasis en la línea argumentativa de Bolívar Zapata, Herrera Estrella y López- Munguía se observa que, la descripción de fenómenos a explicar no es asimilable para toda la comunidad de observadores. En segundo lugar, el sistema conceptual desde el que parten (Dogma Central de la Biología Molecular) ha sido reformulado y por lo tanto ya no es aceptable como hipótesis explicativa (Muñoz 2004, 2014; Folguera, 2013).

El objetivo de esta investigación es hacer una reflexión epistemológica sobre el discurso de divulgación asociado a los OGM en México. No tiene como pretensión hacer una crítica a la ciencia en general, ni socavar los avances y beneficios que la humanidad ha obtenido como resultado del modelo científico imperante en la sociedad. Lo que sí se pretende es abrir el diálogo y la sana discusión en torno a las particularidades que presenta un modelo de investigación científica que se aplica a la agricultura mexicana, tema que ha sido polémico desde el inicio y que sigue despertando constantes debates y visiones encontradas dentro de la comunidad científica y en la opinión pública. Nuestro propósito aquí fue exponer ambas posturas problematizando el discurso y teniendo siempre como base los trabajos de investigadores especialistas en sus áreas. Tampoco se pretende que la propuesta que aquí se retoma sea univoca e infalible, lo que se quiere es presentar las alternativas planteadas por teóricos e investigadores que quieren abrir la discusión.

Bibliografía

Álvarez-Buylla Rocés Elena (2004). “Aspectos ecológicos, biológicos y de agrobiodiversidad de los impactos del maíz transgénico”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.181-218.

Amozurrutia de María y Campos, José A. (2016) “Resonancia Sincrónica: un modelo de campo cognoscitivo para el análisis social”. Disponible en: https://www.ceiich.unam.mx/0/23Publi.php?tblPersonalAcademico_id=8#anclaMen

Andreu Guerrero, Manuel J. (2000). *Empirismo, 2 Método científico, 1*, en Encuentros en la biología, Vol. I, no. 61 Febrero. Disponible en: <http://www.encuentros.uma.es/encuentros61/empirismo.html>

Arnold Cathalifaud, M. y Osorio, F. (1998). *Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas*. Cinta de Moebio, [en línea] (3). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10100306>

Baharona Echeverría, A. (2004). “Ingeniería genética: origen y desarrollo”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.9-28.

Barahona Echeverría, A. y Muñoz Rubio, J. (2004). *Alimentos transgénicos: ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto* (Biblioteca aprender a aprender). Siglo XXI de España Editores.

Barreda Marín, A. (2014). “Subordinación de la tecnociencia bajo el capitalismo actual (notas para una investigación interdisciplinaria)”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.77-114.

Bateson, Gregory (1993). *Una unidad sagrada*. Barcelona: Gedisa.

Bertalanffy, L., (1976), *Teoría General de los Sistemas, fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, México.

Bolívar Zapata, Francisco (2001). “El Genoma Humano”, en Letras Libres, No. 21, Septiembre.

Bolívar Zapata, F. (2004). “Biotecnología moderna para el desarrollo de México”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.261-268.

Bolívar Zapata, F. (2013). *Organismos Transgénicos, sus grandes beneficios y ausencia de daño*. Conferencia presentada el 10 de octubre en FLACSO, México.

Bolívar Zapata, F. (2017). *Organismos Transgénicos sus grandes beneficios y ausencia de daño*. Conferencia presentada el 28 de agosto en El Colegio Nacional, México.

Bolívar Zapata, F. (coord.) (2017), *Transgénicos, sus grandes beneficios y ausencia de daños y mitos*, Comité de biotecnología, Academia Mexicana de Ciencias.

Bolívar Zapata, F. y Stephens, S. (2011). *Por un uso responsable de los Organismos Genéticamente Modificados*. México, D.F.: Academia Mexicana de Ciencias.

Ceccon, Eliane (2008). *La revolución verde: tragedia en dos actos*. Revista Ciencias, UNAM, [online] No. 91, pp.21-29. Disponible en: <http://www.journals.unam.mx/index.php/cns/article/view/12160/11482>

Cocho, G., Gutiérrez, J. and Miramontes, P. (2014). “Ciencia: crisis de la razón y sinrazón”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.23-44.

Córdova, Arnaldo (2007). “La Perversión Empirista de la Ciencia”. Universidades, [en línea], pp.45-58. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37303306>

Covantes Torres, L. (2004). “Contaminación genética del maíz”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.233-250.

Covarrubias Robles, A. (2004). “Ventajas y limitaciones de la biotecnología en la obtención de variedades resistentes a estrés ambiental”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos*

transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. México: Siglo XXI, pp.51-66.

De Ita Rubio, A. (2004). “Maíz transgénico en México: apagar el fuego con gasolina”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.251-260.

Feyerabend P., (1986) *Tratado contra el Método*, sexta edición (2010), Editorial Tecnos.

Folguera, G. y Carizo, E. y Massarini, A. (2013). “Análisis de los aspectos epistemológicos y sociales presentes en el discurso tecno-científico referido a los organismos genéticamente modificados (OGM) cultivados en la Argentina”. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad CTS*, [en línea], pp.91-119. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92429919006>

García Deister, V. (2011). “La centralidad de la Fundación Rockefeller en el desarrollo de la biología molecular revisada: una extensión de la crítica de Abir-Am a la luz del modelo del operón”. *THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, [en línea], pp.69-80. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339730814004>

García Jiménez, A. y Toscana Aparicio, A. (2016). “Presencia de maíz transgénico en la Sierra Norte de Oaxaca”. Un estudio desde la mirada de las comunidades, en revista *Sociedad y ambiente* [en línea] (12), pp. 119-144. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4557499968006>

García Rolando V; Piaget, J. (1984) *Psicogénesis e historia de la ciencia*, México, Siglo XXI.

García, Rolando V. (1997) *La epistemología genética y la ciencia contemporánea. Homenaje a Piaget en su centenario*. Barcelona: Gedisa.

García, Rolando V. (2000) *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de Sistemas Complejos*. Barcelona: Gedisa. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/259738403/Rolando-Garcia-Conocimiento-en-Construccion>

García, Rolando V. (2006) *Sistemas complejos, conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa. Disponible en:

<http://www.pensamientocomplejo.com.ar/docs/files/Garcia,%20Rolando%20-%20Sistemas%20Complejos.pdf>

Gershenson, C. (2014). *Pensamiento sistémico*, Coursera-UNAM.

Glaserfeld, E. (1994). “Introducción al constructivismo radical”, en: P. Watzlawick, ed., *La realidad inventada*. Barcelona: Gedisa, pp.20-37.

Herrera Estrella, L. y Martínez Trujillo, M. (2004). “Plantas transgénicas: potencial, uso actual y controversias”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.29-50.

Herrera Estrella, L. (2004). “Plantas transgénicas: Aplicaciones y controversias”, *Revista Ciencia y Desarrollo*, Vol.30, No. 175, Marzo- Abril, pp.42-49.

Jardón Barbolla, L. (2014). “La construcción de una biología no reduccionista como actividad práctica: tres esbozos en el espejo de J.B. S. Haldane”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.337-360.

Kuhn, T., S., (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de cultura económica, México, Octava reimpresión (2004), traducción de Agustín Contin.

Leff, E. (2014). “La complejidad ambiental: de la totalidad sistémica a la política de la diferencia”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.305-336.

Levidow, L. (2004). “¿Democratizando la tecnología o tecnologizando la democracia?” Respuestas europeas a los cultivos transgénicos, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.285-295.

Lewontin, Richard (2000). *Genes, organismo y ambiente*. 1st ed. Barcelona: Gedisa, pp.9-100.

López Munguía, A. (2004). “Aspectos polémicos de la introducción de las plantas transgénicas en la alimentación”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.89-97.

Marcello Almeyra, C. (2014). “Democratizar ciencia y tecnología para un desarrollo sustentable socialmente justificable”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp. 183-214

Martínez Negrete., M. (2014). “El reduccionismo nuclear y la opción inagotable”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.137-150.

Massieu Trigo, Y. y Lechuga Montenegro, J. (2002). “El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo”, en revista *Análisis Económico*, [en línea], pp.281-303. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41303610>

Muñetón Pérez, Patricia (2009), “Transgénicos, biotecnología desde el reduccionismo. Charla con el Dr. Julio Muñoz Rubio”, en *Revista Digital Universitaria*, Vol. 10, Número 4, Universidad Nacional Autónoma de México, 10 de abril.

Muñoz Rubio, J. (2004). “Ciencia y reduccionismo: una crítica a la concepción cartesiana del mundo en la producción de alimentos transgénicos”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.98-114.

Muñoz Rubio, J. (comp.) (2014). *Totalidades y complejidades, crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM.

Muñoz Rubio, J., (2018). Conferencia “Comentarios al libro: Transgénicos, grandes beneficios y ausencia de daños y mitos de Francisco Bolívar Zapata (coord.)”, Ciclo de mesas redondas *Los alimentos transgénicos a debate* coordinado por Julio Muñoz el 11 de abril en el Auditorio Alberto Barajas Celis de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Olivé Morett, L. (2004). “Transgénicos, riesgos y participación pública”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.131-148.

Osorio, Juan Carlos (2007). *Introducción al pensamiento sistémico*, Santiago de Cali, Universidad del Valle, 2007. 120 p

Padilla Acero, J. (2004). “Análisis de riesgos y percepción pública de los alimentos transgénicos”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.115-130.

Piaget, Jean (1979). *Investigaciones sobre la abstracción reflexionante*. Editorial Huemul, Buenos Aires, pp. 5-30

Piron, Florece y Varin, Thibaut (2015). “El caso Séralini y la confianza en el orden normativo dominante de la ciencia”, en revista *Sociológica*, México, V. 30, n.84, p. 231-274, abril. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-01732015000100008&lng=es&nrm=iso.

Rendón, Constanza y Folguera Guillermo (2012). “La relación organismo-ambiente en la extensión de la síntesis biológica”, en revista *Epistemología e Historia de la Ciencia*, Volumen 18, Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.

Ribeiro, Silvia (2004). Cultivos transgénicos: contexto empresarial y nuevas tendencias, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.67-88.

Serratos Hernández, José Antonio (2009). “Bioseguridad y dispersión de maíz transgénico en México”, en revista *Ciencias* No. 92, octubre-marzo, 130-141.

Serratos Hernández, J., Gómez-Olivares, J., Salinas-Arreortua, N., Buendía-Rodríguez, E., Islas-Gutiérrez, F. y de-Ita, A. (2007). “Transgenic proteins in maize in the Soil Conservation area of Federal District, Mexico”, en revista *Frontiers in Ecology and the Environment* No.5, pp.247-252.

Solleiro Rebolledo, J. (2004). “Biotecnología para un desarrollo agrícola sustentable”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.149-160.

Toledo Manzur, V. (2004). “Ciencia, sustentabilidad y sociedad del riesgo. El caso de la biotecnología agrícola (transgénicos)”, en J. Muñoz Rubio, ed., *Alimentos transgénicos, ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto*. México: Siglo XXI, pp.161-180.

Villa Soto, J. (2014). “Introducción”, en: J. Muñoz Rubio, ed., *Totalidades y complejidades. Crítica a la ciencia reduccionista*. México: CEIICH-UNAM, pp.11-22.

Youngson, R. and Crespo, P. (2003). *Fiasco. Aprendiendo de los errores de la ciencia*, Barcelona: Robinbook, pp.183-187.

TESIS CONSULTADAS

Pérez-López, Francisco (2015). *Comparación de las comunidades de artrópodos asociadas a algodón silvestre (*Gossypium hirsutum*) con y sin presencia de la proteína recombinante CryIAb/Ac en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 68 pp.

Ruiz Maraver, O.J. (2012). *Monitoreo y detección de maíz transgénico en el municipio de Erongarícuaro, Michoacán*, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 4-24

INFORMES

Gordillo, Gustavo, (2013) *Seguridad y soberanía alimentarias, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO)*

HEMEROGRAFÍA

Ansedé, M. (2016). “109 nobeles acusan a Greenpeace de “crimen contra la humanidad por los transgénicos”, El País, 1 de Julio, https://elpais.com/elpais/2016/06/30/ciencia/1467286843_458675.html

Aristegui noticias (2014). “Mantienen prohibición de siembra del maíz transgénico”, [En línea], 29 de agosto. Disponible en: <http://aristeguinoicias.com/2908/mexico/se-mantiene-prohibicion-de-siembra-del-maiz-transgenico/>

Dirección General de Comunicación Social, UNAM (2017). *Transgénico el 90 por ciento del maíz de las tortillas en México: académica de la UNAM*. [En línea] Disponible en: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_607.html

Enciso, Angélica (2016), “Transgénicos de EU amenazan la existencia de la mariposa monarca”, Periódico La Jornada, 24 de marzo, p. 36. <http://www.jornada.unam.mx/2016/03/24/sociedad/036n1soc>

Espíndola, J. (2017). “Transgénicos, una falsa promesa, alerta investigadora”. El Universal. [En línea] Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/los-transgenicos-son-una-falsa-promesa>

Lira, I. 2017, “Mayas denuncian campos ilegales de soya transgénica y pesticidas; se acabarán las abejas, alertan”, Periódico Sin embargo, 23 de marzo. <http://www.sinembargo.mx/23-03-2017/3179093>

San Vicente, A. (2013). “México ante el maíz transgénico por demanda colectiva”, Periódico La Jornada, 8 de noviembre, <http://www.jornada.unam.mx/2013/11/08/opinion/020a1pol>

Torres Cruz I. (2017). “Mi postura contra los transgénicos es científica, no ideológica: Álvarez-Buylla”, Periódico *La Cronica*, 20 de diciembre, [En línea], Disponible en: <http://www.cronica.com.mx/notas/2017/1057527.html>.

FUENTES ELECTRÓNICAS

Cano, H. (2013). *Foro Maíz Transgénico en México*. [Video en línea] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=BwQmpJ-1rjY&list=PLM3b8GqfHRDXJf2ItqH-dKKz_-7uJKGD-&index=3

Cano, H., 2013, “¿Qué son los transgénicos? Foro Maíz transgénico en México, [En línea], realizado el 8 de junio en el Centro Cultural Universitario (CCU) en Av. Francisco I. Madero Oriente #454, Morelia Michoacán. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=BwQmpJ-1rjY&list=PLM3b8GqfHRDXJf2ItqH-dKKz_-7uJKGD-&index=3