



Nueva Antropología

ISSN: 0185-0636

nuevaantropologia@hotmail.com

Asociación Nueva Antropología A.C.

México

Arellano Hernández, Antonio; Ortega Ponce, Claudia  
Caracterización de la investigación biotecnológica del maíz en México: un enfoque etnográfico  
Nueva Antropología, vol. XVIII, núm. 60, febrero, 2002  
Asociación Nueva Antropología A.C.  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15906004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# CARACTERIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA DEL MAÍZ EN MÉXICO

Un enfoque etnográfico

**Antonio Arellano Hernández  
y Claudia Ortega Ponce\***

---

## INTRODUCCIÓN

**E**n el siglo xx, la aventura científica se acelera y engendra transformaciones significativas en la percepción e instrumentalización de la naturaleza, de las condiciones materiales de vida, de la reproducción social y, de manera especial, de la capacidad técnica que ubica al hombre en el umbral de su propia modificación genética. No es exagerado decir que, junto con la informática, las comunicaciones y los nuevos materiales, las biotecnologías son la punta

de lanza de la reconstrucción de la sociedad y de la naturaleza de fines de siglo.

Las biotecnologías comprenden un amplio espectro de disciplinas y de metodologías hasta hace poco tiempo sin una relación estable e interpenetrada. Las biotecnologías han logrado establecer una relación estratégica e imprescindible entre ciencias naturales, ingenierías, ciencias sociales y disciplinas ético-jurídicas. Ellas pertenecen, con la microelectrónica, los nuevos materiales y las energías renovables, a las tecnologías híbridas. De conformidad con Brenner, "la biotecnología tendrá profundas repercusiones sobre la alimentación, la agricultura, la ganadería, mismas que se manifestarán en los planos de la deslocalización de la producción, de la competencia de los cultivos, de

---

\* Investigadores del Centro de Estudios de la Universidad, Universidad Autónoma del Estado de México.

los procesos de transformación y la conservación de alimentos, y de la composición y calidad de los alimentos” (Brenner, 1991).

El tema de la biotecnología ha sido abordado por un número importante de investigadores de todo el mundo. Particularmente, en México encontramos estudios sobre la importancia general de las biotecnologías (Arroyo y Waissbluth, 1988); sobre las repercusiones de la biotecnología en diversos aspectos de la economía campesina (Gordon, 1991); sobre las relaciones entre los diversos tipos de productos biotecnológicos y sus efectos en la economía (Mestries, 1990; Vega, 1989; Casas, 1992 y 1993); sobre las políticas económicas (Massieu, 1990), o sobre la ecología (Baark, 1991) y sobre el cambian-te estado del arte de la biotecnología en diferentes áreas (SMBB, 1996).

Todos los estudios muestran, efectivamente, las implicaciones políticas, económicas, sociales, ambientales, éticas y legales de las biotecnologías. Sin embargo, una paradoja se vuelve evidente: las pretensiones explicativas globales de muchos de esos estudios contradicen las condiciones de las situaciones particulares derivadas de la complejidad, la diversidad y la acelerada mutación de estas tecnologías. Por otro lado, la mayoría de esos trabajos comienzan sus análisis justo cuando suponen que los artefactos están concluidos en los laboratorios, de modo que sólo queda por estudiar los efectos (repercusiones) de las tecnologías en la sociedad.

Frente a esta situación, nos propusimos observar etnográficamente los procesos de investigación biotecnológica tomando como caso la relacionada con el

mejoramiento del maíz. La investigación que realizamos aborda la producción de la red de relaciones sociales, materiales y simbólicas que surge a propósito de los esfuerzos de los científicos por establecer y fortalecer el abanico de investigaciones que pretenden mejorar el conocimiento, las características técnicas y el desempeño de la genética del maíz. Para propósitos de la presente exposición, nos concentramos en ilustrar las características generales de la Investigación Biotecnológica del Maíz (IBtMaíz) y de algunas modificaciones sociales, institucionales y científico-técnicas perceptibles en observaciones etnográficas en los 6 laboratorios en los que se realiza investigación biotecnológica sobre el maíz en México y los 13 principales investigadores nacionales de la disciplina.

La metodología aplicada a la investigación tiene su origen en las aplicaciones derivadas de los principios metodológicos del Programa Fuerte de la Sociología de la Ciencia (Bloor, 1976). Los resultados de la aplicación del “programa fuerte” han mostrado que las nociones sobre la naturaleza son inciertas, redefinidas constantemente, convencionales y construidas socialmente (Barnes, 1993/1994). Pero, simultáneamente, han evidenciado la dificultad de mantener una imagen unitaria y estable de la sociedad (Latour, 1991). En efecto, para explicar el factor social de las ciencias, algunos investigadores apelan al carácter religioso de los científicos (Farley y Geison, 1991); otros, a las características de las organizaciones científicas (Mulkay y Edge, 1982), y algunos más, al carácter ideológico de los actores (Shapin y Shaffer, 1993). Dicho de otra manera, las nociones de los sociólogos

y antropólogos de las ciencias sobre la sociedad son tan inciertas, heterogéneas y asimétricas como las nociones sobre la naturaleza que producen los naturalistas (Callon, 1989).

Por su parte, los etnometodólogos admiten que la construcción de los hechos científicos es simultáneamente la construcción de su contexto social (Lynch, 1982 y 1985) y que los científicos son al mismo tiempo naturalistas y sociólogos. Para ellos, la actividad científico-técnica es una “actividad mundana” que comparte todas las características de las otras “prácticas situadas” de la vida social (Lynch, 1985).

La perspectiva etnometodológica sobre la simultaneidad en la construcción “situada” de hechos científicos y su contexto se corresponde con la perspectiva del presente trabajo. Pero no compartimos la reticencia de los etnometodólogos a la interpretación de las actividades de los científicos observados; seguir esta perspectiva implicaría que el trabajo antropológico no sería más que acciones de divulgación de situaciones transparentes y no significativas. En esta investigación se pretende interpretar la actividad científico-técnica de los biotecnólogos y de otros actores, reconociendo que nuestros resultados son pretensiones de validez sujetas a negociación con las comunidades de los científicos de la naturaleza, los sociólogos y los antropólogos de ciencias y técnicas. El primer resultado de la aplicación de esta metodología se expresa en la caracterización etnográfica del campo de observación que presentamos en las siguientes páginas.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Los autores de la investigación hemos entre-

Para caracterizar la investigación biotecnológica del maíz en México, en la primera parte de este artículo presentaremos la importancia de estudiar el maíz y su intervención genética; en seguida, expondremos las características generales de la biotecnología del maíz en el mundo y en México; posteriormente abordaremos las características sociotécnicas y el estado actual de la construcción social de la IBT-Maíz en México y de las modificaciones que de ella se están derivando; y, finalmente, presentaremos una reflexión sobre los resultados y el método de estudio.

#### EL MAÍZ Y LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

El caso del maíz presenta un interés particular por múltiples razones. De conformidad con la producción y el valor agrícola, el maíz es uno de los principales cereales del mundo. La importancia mundial de este cereal está marcada por la tasa de crecimiento de su producción y la superficie cultivada. La tasa de crecimiento de su producción entre 1973 y 1988 fue de 2.8% y representó la tasa de crecimiento más elevada de los cereales.<sup>2</sup> La tasa de incremento de la superficie cultivada fue de 25.3% entre 1961 y 1988.

De conformidad con la Fundación para

gado una primera versión de esta caracterización a los biotecnólogos bajo estudio y recibido los comentarios de la mayoría de ellos. Algunas observaciones se tomaron en cuenta en el presente texto.

<sup>2</sup> Entre 1955 y 1985, la producción mundial de maíz casi se ha duplicado y en gran parte esto es explicable por los incrementos en el desempeño de la planta gracias al uso de tecnologías (Sundquist, 1989).

la Alimentación y Agricultura (FAO), el maíz se halla entre los tres principales cereales de la humanidad. En 1996 el maíz fue el principal grano producido en el mundo, y superó al trigo. Las estadísticas recientes indican que la producción mundial de maíz alcanza una media de 490 millones de toneladas, o sea, un cuarto del total de la producción mundial de cereales. México produce 4% del total del maíz en el mundo y ocupa el quinto lugar mundial, después de los Estados Unidos, China, Brasil y la Unión Europea (Engelke, 1997). En México, la producción de grano de maíz representa 73% de la producción de los principales cereales, muy por delante del trigo (cuadro 1).

El destino del consumo ilustra un hecho de crucial importancia. Mientras que, en el mundo, 22% se destina al consumo humano, en México este porcentaje llega a 66%, y viceversa, el consumo animal en

el mundo es de 68% y en México sólo representa 15% (Turrent, 1993; Engelke, 1997). Sin embargo, el consumo humano aumenta en el mundo; baste decir que solamente en los Estados Unidos, el consumo de tortilla alcanza una tasa de incremento superior a 10% anual, lo que representa la tasa de crecimiento más alta de todos los alimentos en ese país (Staimberg, 1994).

Los usos industriales del maíz cubren la fabricación de alimentos para la ganadería tanto en grano como en ensilaje, la fabricación de harinas, sémolas, aceites, cereales para el desayuno, almidón, alcohol etílico, acetona, cerveza, whisky y combustible para motores (Jugenheimer, 1981, y USDA, 1998).

En México, el papel de este cereal está marcado por la elevada producción de grano que sitúa a México como quinto productor mundial, y porque siendo cen-

CUADRO 1. *Producción, superficie y productividad cerealera en México y el mundo en 1997*

<i>Cereal</i>	<i>Producción (mill. ton)</i>		<i>Sup. sembrada (000 ha)</i>		<i>Productividad (t/ha)</i>	
	<i>México</i>	<i>Mundo</i>	<i>México</i>	<i>Mundo</i>	<i>México</i>	<i>Mundo</i>
Maíz	17.300	594.120	7.900	148.006	2.189	4.014
Trigo	3.562	588.436	0.914	231.070	3.893	2.546
Arroz <sup>1</sup>	0.454	562.714	0.101	150.859	4.493	3.730
Cebada	0.616	155.877	0.275	66.826	2.234	2.332
Avena	0.093	31.060	0.054	17.316	1.723	1.793
Centeno	0.400	23.156	0.100	11.280	4.000	2.052
Total	22.425	1.955.363	9.344	625.357	2.300	3.100
<i>Total FAO<sup>2</sup></i>	<i>26.694</i>	<i>1.889.040</i>	<i>10.821</i>	<i>721.278</i>	<i>2.466</i>	<i>2.619</i>

FUENTE: FAO, 1997, con datos de la base FAOSTAT.

<sup>1</sup> Se refiere a arroz en cáscara.

<sup>2</sup> Son las cifras agregadas de la FAO e incluyen cereales de menor importancia.

tro de origen, conserva aún la biodiversidad más importante del mundo. A escala nacional, la superficie media cultivada con maíz alcanza 7 millones de hectáreas; esto representa 35% de la superficie agrícola nacional, y 54% de las 12.5 millones de hectáreas destinadas a los 10 principales cultivos de cereales. La producción anual es de 12.6 millones de toneladas, lo que representa 33% del valor de la producción agrícola nacional (INIFAP, 1999).

En México, los agricultores que dependían del cultivo del maíz representaban, en 1982, una masa que rebasaba los 2 millones (CEPAL, 1982); esto significa que 4 productores mexicanos sobre 5 se dedicaban a la producción de maíz y 1.8 millones de ellos dependían del cultivo para satisfacer sus necesidades alimentarias. Nueve años más tarde (1991), el mismo porcentaje de los jefes de familia de las unidades de producción agrícola (72.4%) reportaban al maíz como su principal cultivo (INEGI, 1994).

Ahora bien, la intervención prebiotecnológica para mejorar el desempeño del maíz se basaba en las técnicas científicas de la selección vegetal. Estas técnicas datan de los años veinte y consisten en manipulaciones de las características del vegetal observables fenotípicamente (fenómenos observables empíricamente causados por las características genéticas de los individuos). Gracias a estas técnicas se habían formado las variedades de polinización libre y los híbridos (Arellano, 1999). La técnica para formar las primeras consiste en seleccionar mazorcas de plantas preseleccionadas en el campo; las semillas de estas mazorcas se siembran en el ciclo siguiente y se controla la polinización cruzada entre dos plantas para

fabricar variedades comerciales estables genética y fenotípicamente. La producción de híbridos supone dos pasos: primero se autofecundan, por varias generaciones, ciertas líneas de plantas seleccionadas por los científicos y luego se cruzan algunas líneas para seleccionar las plantas cruzadas (plantas híbridas) que presentan características superiores a los progenitores originales (Ángeles, 1968; Wellhausen, 1951; Arellano, 1999).

Estos dos tipos de selección vegetal se emplearon en México desde fines de la década de 1930 para aumentar el rendimiento de las plantas y el desempeño fisiológico ante la aplicación de fertilizantes sintéticos, pero también para resistir mejor el ataque de plagas, de enfermedades de la adversidad ambiental. En estas técnicas de mejoramiento y selección se sustentaba el paradigma de la investigación conocida como la Revolución Verde. En lo fundamental, la estructura social de este esquema de investigación estaba constituida por tres niveles: el tercer nivel estaba constituido por las universidades y los gobiernos de los principales países industrializados que financiaban la producción de principios científicos y metodológicos básicos, de los que se desprendían las investigaciones aplicadas; en el segundo nivel se encontraban las grandes empresas transnacionales y los institutos internacionales de investigación (tipo CIMMYT) dedicados a productos de consumo generalizado (plaguicidas y máquinas); y en la base se encontraban los programas de investigación agrícola nacionales que, financiados por los gobiernos de cada país, se consagraban a la afinación de tecnologías de aplicación regional (Piñeiro, 1988).

A fines de los años setenta, surgen las aplicaciones de la biotecnología molecular en la selección vegetal mediante el uso generalizado de los marcadores genéticos moleculares (James, 1988). Estas aplicaciones dieron origen a lo que hoy se conoce como la investigación biotecnológica vegetal. Esta nueva investigación se caracteriza, en el plano de lo social, por cambios en los papeles de los sectores privados y públicos, así como por sus formas de interacción, ejemplificadas en los hechos siguientes:

1) la investigación biotecnológica es resultado de las competencias comerciales del sector privado, no de los esfuerzos de los institutos públicos nacionales de investigación o de los Centros Internacionales de Investigación Agrícola (CIA) agrupados en el Grupo Consultivo en Investigación Agrícola Internacional (CGIAR por sus siglas en inglés) (Brenner, 1991); 2) la investigación biotecnológica es producto del nacimiento o fortalecimiento de las sociedades científicas de biotecnología, la constitución de sociedades multinacionales, por la constitución de empresas conjuntas entre multinacionales y nuevas empresas de base tecnológica; 3) el financiamiento de la investigación tiene como origen capitales de riesgo, por emisiones públicas, sociedades multinacionales, ejecución de contratos y acuerdos de licencias e incluso con ayuda financiera del Estado; 4) la creación de empresas y sociedades fundadas directamente por científicos, por ejemplo: CETUS, BIOGEN, GENEX y GENENTECH (Liouville, 1981); 5) la institucionalización de la investigación en grandes empresas multinacionales me-

dante la creación de sus propios departamentos e instalaciones de investigación; 6) los contratos entre sociedades e institutos privados de investigación y los CIA; 7) la creación de una división de trabajo mediante la firma de acuerdos con los organismos y universidades; esto se concreta en la inversión de las multinacionales en la investigación básica universitaria; 8) la conformación de las instituciones públicas a la reducción de fuentes de financiamiento estatales y la inminente condena de la investigación pública a tareas limitadas, secundarias y de apoyo a la transferencia tecnológica de las grandes empresas, o bien, la interacción con instituciones privadas o fundaciones internacionales.

En este esquema social de la investigación aparece la biotecnología del maíz. Una de las primeras acciones surgidas dentro del esquema apareció en 1980, cuando el CIMMYT estableció un modesto laboratorio enfocado al uso de marcadores genéticos para apoyar los programas de mejoramiento genético (James, 1988), después vendría el desarrollo de una Red de Colaboración entre empresas y organismos públicos sobre biotecnología del maíz para investigaciones conjuntas y transferencia de tecnología para técnicas de "mapeo" genético (conocido técnicamente como RFLP) (cuadro 2).

Desde esa época, el maíz se encuentra en el nuevo campo de intervención biotecnológica. Las expectativas de la biotecnología del maíz se abrían a la fantasía y a la creación de la red sociotécnica manipulable con técnicas venidas de la biología molecular.

CUADRO 2. *Instituciones europeas asociadas a la Red Maíz RFLP*

<i>Sector privado</i>	<i>Sector público</i>
Alemania KWS	Max Planck, Colonia Universidad de Munich Universidad de Hohenheim
Francia LIMAGRAIN	Laboratorio GPDF del CNRS Gif-sur-Ivette
Italia AMY	Instituto Gergamo
Holanda Van der Haave	SVP (Wageningen)

FUENTE: James, 1988.

## LA BIOTECNOLOGÍA DEL MAÍZ

En 1987 Jones presentó las vías de investigación biotecnológica más prometedoras. Estas vías pretendían avanzar en: 1) la fijación biológica del nitrógeno, 2) el cultivo de tejidos, 3) la transferencia de embriones, 4) la producción de anticuerpos monoclonales, 5) la fusión de protoplastos vegetales, 6) el uso del ADN recombinante para el diagnóstico de enfermedades, y 7) la ingeniería genética del biocontrol de vacunas animales y vegetales (Jones, 1987).

En 1982 Sundquist preveía que en décadas futuras sería factible incrementar los rendimientos de maíz por vía de: 1) la modificación genética en el nivel celular por medio de: a) el cultivo celular y de tejidos, y b) la transformación genética, 2) la intensificación fotosintética, 3) el uso de reguladores del crecimiento, y 4) la fijación del nitrógeno (Sundquist, 1982). A estas previsiones habría que agregar las de Herdt (1989) consistentes en: 5) aumentar la eficiencia del mejoramiento convencional, 6) mejorar los híbridos, y 7) conservar el germoplasma (Cuadro 3).

En congruencia con estas previsiones, la investigación y el desarrollo de la biotecnología continúan y han abierto nuevas avenidas. La técnica de cultivo de tejidos se ha vuelto cosa corriente, luego de que desde los años sesenta se logró la primera restauración de plantas de maíz. Ahora esas técnicas son la base para la selección *in vitro* de líneas celulares de interés científico y económico, como es el caso de la selección de líneas celulares resistentes a ciertas sustancias como herbicidas (Phillips, 1998).

La transformación genética por medio de la biobalística y todas las técnicas de seguimiento de modificaciones por medio de marcadores genéticos han dado paso a la generación de los primeros maíces transgénicos comerciales (maíz Bt). Se trata de maíces que contienen en su genoma algunos genes que codifican la expresión de sustancias tóxicas a ciertas plagas del maíz (como las lepidópteras del maíz).

Los esfuerzos de investigación para incrementar la fotosíntesis pretendían economizar la tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> por unidad de superficie de tierra para incrementar la producción de sustancias

CUADRO 3. *Previsiones internacionales de la biotecnología del maíz en 1982 y estado del arte en 1990 y 1998*

<i>Previsiones internacionales en 1980</i>	<i>Edo. del arte, 1990</i>	<i>Edo. del arte, 1998</i>
Aumento de la eficiencia del mejoramiento	Operable en varios cultivos	Amplio desarrollo del mejoramiento asistido
Inserción de genes de resistencia a enfermedades	Existen ejemplos	Se comercializan alrededor de 100 maíces transgénicos en el mundo y ninguno en México (USDA, 1998).
Mejoramiento de híbridos existentes	Aún no demostrado	Mejoramiento de líneas puras por vía de la balística de plásmidos.
Conservación de germoplasma	Aún no demostrado	No desarrollada
Fijación de nitrógeno	Esbozado teóricamente (Gilliland, 1988)	Casi en abandono
Intensificación fotosintética	Especulativo	Complejización de los enfoques
<i>Desarrollos posteriores a las previsiones de Robert Herdt</i>		
Inserción de genes por balística de plásmidos	—	Aceleración de la eficiencia de inserción genes clonados
Desarrollo de maíz de reproducción asexual	—	Existen ejemplos experimentales

FUENTES: Herdt, 1989; Bull *et al.*, 1982. Elaboración de H. A. Arellano y P. C. Ortega, 1998.

nutritivas por unidad de área (Bunce, 1986). Desde mediados de la década de 1980 esta vía de investigación se ha cancelado y se ha dado paso a la exploración de los medios posibles para incrementar la eficiencia fotosintética por medio de la transformación genética.

Las previsiones de Sundquist sobre el aumento en el rendimiento por medio de los reguladores del crecimiento han declinado después de mediados de los ochenta. Numerosos programas de in-

vestigación de las grandes empresas químicas sobre los reguladores del crecimiento se han abandonado o reducido considerablemente.

Para el caso de la búsqueda de la fijación biológica del nitrógeno, se ha perseguido por vía de la simbiosis o por la introducción de los genes que controlarían la fijación del nitrógeno en el interior de la planta de maíz. Hasta ahora estas vías se han vuelto más complejas, como en el caso del incremento de la fotosíntesis, y

los programas de empresas y de los Centros Internacionales de Investigación Agrícola se han reducido (Brenner, 1991).

Respecto a las previsiones de Herdt, podría decirse que el mejoramiento de la eficiencia de la selección ha derivado en el mejoramiento asistido con técnicas de marcadores genéticos moleculares. Las líneas de algunos híbridos comerciales han sido transformadas para resistir plaguicidas que se expresan en los híbridos (Phillips, 1998). Finalmente, la conservación de germoplasma, en tanto que preservación de genoma, no se ha desarrollado.

Dicho brevemente, las previsiones de la investigación biotecnológica se han transformado en 25 años. Por un lado, técnicas tan valoradas en los ochenta, como el cultivo de tejidos, se han puesto en posición de técnicas subordinadas a la transformación vegetal; por el otro, las esperanzas de incrementar la producción de maíz por medio de la fijación biológica de nitrógeno, el aumento de la fotosíntesis y el incremento del crecimiento por uso de reguladores, se han postergado y vuelto más complejas.

La vía más desarrollada es la transformación genética que ha puesto a su disposición el uso de tecnologías venidas de la biología molecular, del cultivo celular y de tejidos y, de la nueva generación de biobalística vegetal. Todas estas técnicas están tomando forma en la generación de plantas modificadas genéticamente con capacidad para expresar la producción de sustancias tóxicas para plagas y ciertas modificaciones anatómico-fisiológicas, como el caso de la reproducción asexual (conocida como apomixis). De igual manera, la síntesis de mejora-

miento tradicional y del uso de técnicas de la biología molecular se han vuelto una empresa común.

#### CARACTERIZACIÓN SOCIOTÉCNICA DE IBtMaíz<sup>3</sup>

Los recursos consagrados a la investigación del maíz no son bien conocidos. Se estima que a principios de los noventa, en México había 179 investigadores trabajando sobre el maíz, 67 de ellos en mejoramiento genético (Brenner, 1991). Por otro lado, se estimaba que el presupuesto aplicado a la investigación gubernamental alcanzaba 40 millones de dólares. Si consideramos que el número de experimentos sobre el maíz era de 17.24% en el INIFAP, esto significa que probablemente el presupuesto aplicado al maíz habría sido de 5.15 millones de dólares por año (Matus *et al.*, 1990). Esto quiere decir que, en relación con los 185 millones de dólares invertidos en el Centro de Investigación en Ciencias Biológicas de la empresa Monsanto para el maíz (Kenny, 1991), el presupuesto mexicano correspondería al costo de un programa de mejoramiento genético modesto.

---

<sup>3</sup> Es necesario aclarar que la complejidad y diversidad de tareas de instituciones e investigadores no queda reflejada en este estudio. Ninguna institución ni investigador alguno se dedican a la investigación biotecnológica del maíz por completo; por esta razón, nuestras observaciones no pueden esgrimirse como evaluaciones del desempeño de las instituciones mencionadas ni de los investigadores participantes. Por el contrario, nuestros resultados y juicios sólo pueden aspirar a dar cuenta de la faceta del desempeño sobre el maíz, sus implicaciones y algunos de sus efectos.

Según el Banco Mundial, hace una década en México había 40 instituciones que realizaban investigaciones biotecnológicas y, de ellas, 18 hacían biotecnología vegetal. En relación con el maíz, 7 institutos hacían investigación sobre el tema: el CIMMYT, la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), el INIFAP, el Cinvestav-Irapuato, la Facultad de Química de la UNAM, el Colegio de Postgraduados, el Instituto de Biotecnología de la UNAM (Matus *et al.*, 1990). Hoy el panorama no ha cambiado mayormente (cuadro 4).

El campo de observación que escogimos se compromete directamente con la filiación de una definición de investigación biotecnológica. Adoptar una definición es una tarea compleja porque las acepciones de ambos términos son inagotables y cada día se agregan nuevas acepciones y clasificaciones. Por esta razón, y como consecuencia de nuestra perspectiva etnográfica, hemos tomado prestadas las categorías de los investigadores informantes, para decir que nos interesamos en dos ámbitos de la investigación que parecen tener un mejor estatuto epistemológico; nos referimos a la investigación en biología molecular y en ingeniería genética. La primera se concentra en el estudio del genoma y su relación con las características físicas o fisiológicas —o ambas— que los genes codifican. En cambio la ingeniería genética pretende realizar modificaciones estables en el genoma para fijar determinadas características en las propiedades anatómicas o fisiológicas —o ambas— en los vegetales. En todo caso, ambas consisten en la manipulación del genoma de los organismos vivos para alterar sus características en búsqueda del conocimiento de ciertos procesos o de

la instrumentación productiva de esos procesos.

De conformidad con la definición anterior, nuestro campo de observación abarca los laboratorios del Cinvestav-I, del Instituto de Biotecnología de la UNAM, de la Facultad de Química de la UNAM, de la Universidad Autónoma Chapingo, del INIFAP y del Colegio de Postgraduados. En todos ellos, los responsables declararon enfáticamente realizar investigaciones biotecnológicas relacionadas con el cultivo del maíz.<sup>4</sup>

Los recursos humanos dedicados a la investigación comprenden 13 investigadores, 8 doctorantes, 13 maestrantes, 7 tesisistas de licenciatura y 11 técnicos (cuadro 5). El grupo de investigadores está integrado por 11 doctores y 2 candidatos a doctor; 6 de ellos han hecho estancias posdoctorales. La formación de estos investigadores corresponde a dos generaciones, 3 de ellos se formaron en disciplinas prebiotecnológicas y 10 en formaciones en biotecnología propiamente dicha. En promedio su edad académica, contada a partir de su primera publicación certificada, es de 14 años.

Los patrones de organización de la investigación corresponden a tres modelos: 1) aquellos en los que existe un líder académico y estudiantes de posgrado, 2) los que se integran en dos niveles de investigadores (líder académico e investigadores por laboratorio) y estudiantes de posgrado, 3) en los que los investigadores

<sup>4</sup> El responsable de la investigación biotecnológica del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo no consintió en que realizáramos entrevistas entre su personal ni que tuviéramos acceso a sus laboratorios.

CUADRO 4. Principales campos de estudio de la biotecnología vegetal en México en 1990 y del maíz en 1998 de las instituciones en estudio

<i>Institución</i>	<i>Micro propagación (a)</i>	<i>Mej. genético (b)</i>	<i>Estudios básicos (c)</i>	<i>Conserv. germoplasma (d)</i>	<i>Metabol. secundario (e)</i>	<i>Campos principales de investigación en 1998</i>
1. Cinvestav-I	X	X	X		X	Transformación genética, mejoramiento asistido por técnicas biotecnológicas
2. CIMMYT		X	X	X		Apomixis, mejoramiento asistido
3. DBQ-UNAM			X			Biología molecular de la germinación
4. IBT-UNAM	X		X	X		Biología molecular de la fotosíntesis
5. COLPOS	X	X	X	X	X	Cultivo de tejidos
6. UACH						Caracterización de maíz
7. INIFAP	X	X		X		Caracterización de germoplasma

CUADRO 5. Principales centros de investigación biotecnológica del maíz en México, número de investigadores informantes y su personal

Institución	Núm.				
	de investigadores	TS D	TS M	TS L	TECS
Cinvestav-I	3	3	0	0	3
Departamento de Bioquímica, UNAM	2	4	9	4	1
Instituto de Biotecnología, UNAM	2	1	2	2	2
Colegio de Postgraduados	1	0	2	0	1
Universidad Autónoma Chapingo	2	0	0	1	1
INIFAP	3	0	0	0	3
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>11</b>

FUENTE: Elaboración propia.

TS = Tesista, D = Doctorado, M = Maestría, L = Licenciatura y TECS = Técnicos.

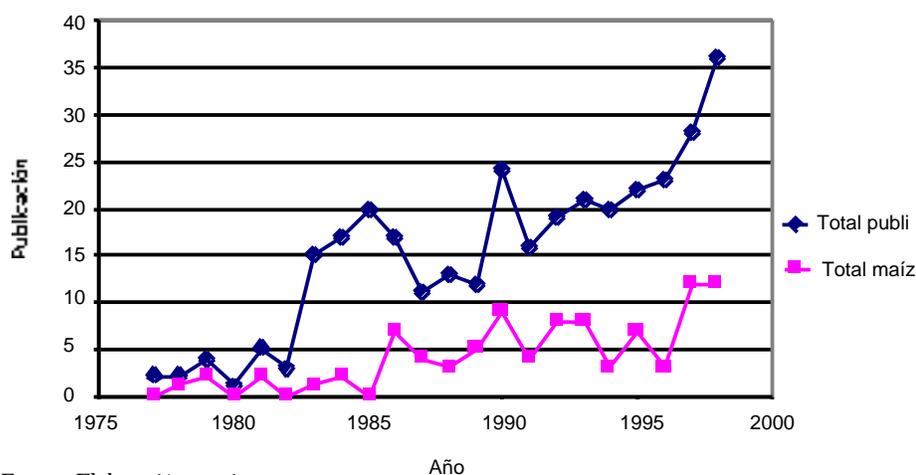
trabajan individualmente. El primer modelo corresponde a cuatro laboratorios, al IBt, DB-Q, UACH y el CP, el segundo al Cinvestav-I, y finalmente el último modelo al INIFAP.

Si en la década de los ochenta la investigación biotecnológica se limitaba a los dominios de la bioquímica del cultivo de embriones, el cultivo celular *in vitro* y la selección de líneas celulares resistentes a plagas y ambientes adversos, ahora la investigación se ha diversificado y profundizado. Los temas que abarcan los investigadores del campo de observación son: los procesos biomoleculares implícitos en la acumulación de nutrientes, la bioquímica de la germinación, la genética de organelos relacionados con la fotosíntesis, la genética de la resistencia a choques de calor (sequía), la caracterización de germoplasma mediante marcadores genéticos moleculares, el mejoramiento genético asistido con técnicas biotecnológicas, la transformación genética para la fijación de genes para controlar la apomixis y para resistir altas con-

centraciones de aluminio; finalmente, la estabilización de técnicas de aceleración de transformación mediante biobalística y los estimuladores de crecimiento celular (cuadro 4).

De conformidad con la producción certificada en publicaciones y formación de recursos científicos, el surgimiento de la IBtMaíz mexicana en la literatura data de 1978 (Sánchez, 1978), pero es en 1980 cuando se presentan los primeros reportes de investigaciones realizadas en México. El grupo ha publicado 331 artículos, 212 de los cuales aparecieron en revistas internacionales y 41 capítulos de libro. De los 331 artículos publicados, 93 corresponden a publicaciones sobre el maíz; de ellas, 77 son internacionales y 16 nacionales (figura 1). Respecto a patentes, un investigador ha registrado 4, ninguna en maíz.

En cuanto a la formación de recursos humanos, este grupo ha formado a 96 licenciados, 47 maestros en ciencias y 25 doctores. De conformidad con el cuadro 5, la vocación de los laboratorios incluye la formación de recursos humanos,

FIGURA 1. *Publicaciones acumuladas y sobre el maíz de los biotecnólogos/año*

FUENTE: Elaboración propia.

a excepción del INIFAP, que están consagrados a la investigación.

De los resultados anteriores, contamos con una caracterización tradicional de la investigación. En ella podemos reconocer la amplitud institucional, los recursos humanos comprometidos en esta línea de investigación, los patrones de organización de la actividad, la producción certificada de este grupo de científicos y los campos en los que se despliega la actividad científica. Pero ya que nuestro interés es abordar las modificaciones que la investigación biotecnológica genera en los planos de las relaciones sociales y hombre-naturaleza, particularmente en las modificaciones institucionales, materiales y de opinión sobre la naturaleza modificada, a continuación trataremos la IBtMaíz en la perspectiva de su elaboración social.

#### CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA IBtMaíz

El proceso de la investigación científica requiere la edificación de la figura de científico y de la disponibilidad material para manipular la naturaleza (Callon, 1986; Arellano, 1999).

Para que los científicos se conviertan en actores necesitan pertenecer a espacios de negociación reconocidos legítimamente (centros de investigación instituidos) y disponer de centros de movilización y manipulación de la naturaleza (laboratorios) (Callon, 1986). Gracias a esta infraestructura social, institucional y material, los hombres de ciencia pueden aspirar a movilizar la naturaleza para producir conocimientos y tecnologías. Empleando los términos de Lakatos diríamos

que para que los científicos tengan acceso a la movilización de la naturaleza (el contenido de la investigación) requieren la construcción de espacios sociales en los que el resto de los actores sociales se mantengan en el plano de lo contextual. Por esta razón, las movilizaciones sociales de los científicos se dirigen a establecer y consolidar sus laboratorios, pero también, simultáneamente, a ganar libertad para manipular la naturaleza; de la conservación y el acrecentamiento de sus laboratorios depende su autonomía en sus espacios de negociación.

Atendiendo estas dos movilizaciones, podemos decir que la IBtMaíz en México se encuentra en dos estadios de conformación y consolidación. En el primero se realizan una serie de modificaciones institucionales encaminadas a la conformación material, social y simbólica de un espacio de producción científica concretadas en laboratorios. En este estadio se encuentran las situaciones del INIFAP y de la UACH. Sus laboratorios se fundaron formalmente en los años noventa y son los de más reciente creación (figura 2).

En el segundo estadio se encuentra la situación del Cinvestav-I, el IBt y el DB-Q. Sus laboratorios se fundaron entre los años setenta y noventa (figura 2), todos ellos están ampliamente legitimados en sus instituciones y actualmente se encuentran produciendo hechos científicos y artefactos en niveles internacionales; cabe aclarar que los laboratorios particulares de los investigadores del IBt se crearon hace cuatro años. En este estadio encontramos dos vocaciones de laboratorios: los universitarios (IBt y DB-Q) están concentrados en investigación en biología molecular, en tanto que el tecnológico

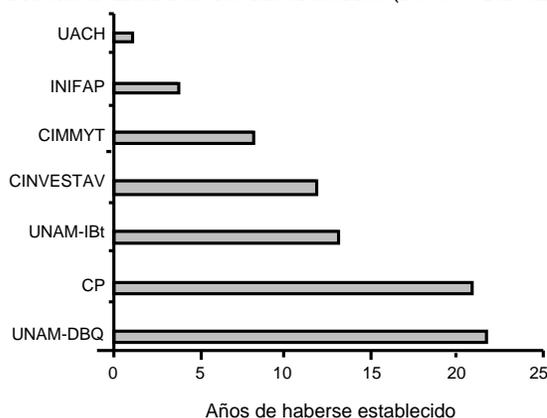
(Cinvestav-I) realiza investigación en ingeniería genética.

Entre ambos estadios se encuentran el laboratorio del CP, el cual, desde su nacimiento y hasta la actualidad, se mantiene realizando cultivo celular y de tejidos en diferentes especies vegetales. Para el tema que nos ocupa, la situación de este laboratorio no se abordará en esta ocasión.

*Primer estadio de la IBtMaíz en México o las modificaciones sociales, materiales y simbólicas necesarias para realizar investigación*

Sociológicamente, el primer estadio muestra las vías de la acción social que los científicos requieren para movilizar la naturaleza hacia sus laboratorios. En este caso, los científicos se han movilitado desde hace una década para lograr establecer un espacio legítimo de investigación. Han realizado un repertorio de acciones para lograr legitimidad y allegarse recursos financieros y materiales para equipar sus laboratorios. Por un espacio de cuatro años, los equipos de las dos respectivas instituciones de este estadio se han aliado para potenciar sus esfuerzos en aras de convencer a sus instituciones de las bondades de invertir en la investigación biotecnológica. Los investigadores se debaten para materializar sus esfuerzos en un espacio que les permita movilizar a la naturaleza y producir resultados científicos certificados en cierta escala.

Desde una perspectiva material de la investigación, los laboratorios de estas instituciones están mal dotados y sus equipos sólo permiten realizar análisis

FIGURA 2. *Edad de los laboratorios (1998 = 1er. año)*

FUENTE: Elaboración propia.

básicos de marcadores genéticos moleculares. Esto explica por qué los científicos de estas instituciones se concentran en la caracterización genética de plantas y sus utilidades, como la comparación de germoplasma y sus consecuencias filogenéticas y ontogenéticas.

Las capacidades técnicas de los científicos de estas instituciones corresponden a los estándares internacionales; sin embargo, en esta primera generación de científicos, sus energías fundamentales se consumen en la construcción del núcleo material de un espacio social y simbólico legítimo para la biotecnología.

En este estadio, resulta claro que la construcción de una red sociocientífica depende del establecimiento de laboratorios científicos, pues ellos permitirán la movilización de la naturaleza, así como la producción de conocimientos y artefactos que legitimarán la acción de los científicos. No es exagerado decir que un indicador cualitativo de la institucionalización de la ciencia en una organización

depende del grado de desarrollo y consolidación de un laboratorio científico.

El hecho crucial en este estadio consiste en que los investigadores de la biotecnología del maíz están siendo un elemento de transformación institucional sin el cual la investigación biotecnológica no podría instalarse definitivamente ni en el INIFAP ni en la UACH.

#### *Segundo estadio de la IBtMaíz en México o las modificaciones engendradas por la biología molecular y la ingeniería genética del maíz*

El segundo estadio muestra a los científicos que han logrado construir sus espacios de negociación y centros de *movilización de la naturaleza*. Estos científicos cuentan con el estatuto necesario y el respaldo institucional para dedicarse a sus funciones científicas. Sus instituciones reflejan en sus nombres, edificaciones, laboratorios, etc., de manera inequívoca,

que su vocación es la investigación biotecnológica.

En este estadio, el gasto social de los científicos para reconstruir el compromiso institucional de investigación biotecnológica es mínimo. En cambio, la orientación de la investigación hacia el maíz se relaciona con aspectos simbólicos y metodológicos de intervención sobre la naturaleza. Los cambios que estas investigaciones producen se identifican en: *a)* la distribución de los objetos de investigación entre las disciplinas, *b)* los problemas de vinculación entre científicos y otros actores sociales, *c)* la lenta metamorfosis de algunos científicos hacia el campo de lo empresarial, *d)* los aspectos de la propiedad intelectual, y *e)* las regulaciones legales y el debate público en torno a los artefactos biotecnológicos.

*a)* La distribución de los objetos de investigación entre las disciplinas se manifiestan en las siguientes reconfiguraciones: *I)* en los cambios de la constelación disciplinaria de las biotecnologías, *II)* en las distinciones entre investigación básica y aplicada, y entre biología molecular e ingeniería genética; finalmente, *III)* en la síntesis del mejoramiento tradicional y del mejoramiento asistido con marcadores genéticos moleculares.

*I)* La constelación y jerarquía de las biotecnologías ha cambiado drásticamente en el transcurrir de sólo tres décadas. En efecto, el cultivo de tejidos y celular era el éxito científico de los años sesenta, y el eje instrumental de la biología vegetal, en el transcurso de sólo diez años, se convirtió en un medio para producir material vegetal necesario para la transformación genética en el nivel molecular. En

este estadio, el cultivo de tejidos está integrado a la regeneración de plantas luego de su transformación genética.

*II)* La investigación biotecnológica ha disuelto las típicas fronteras entre ciencia básica y ciencia aplicada. Esto fue particularmente notable en el ir y venir de técnicas y nociones entre la biología molecular y la ingeniería genética en el momento en que se instrumentó la primera regeneración de plantas de maíz a partir de células vegetales en los años sesenta. Pero fue más drástica la disolución de fronteras cuando, desde la genética molecular, tenía éxito la primera inserción artificial de ADN hace sólo 16 años (Herrera *et al.*, 1983) y se abría la vía de la ingeniería genética vegetal. La mayoría de los científicos de los laboratorios de este estadio pasan las fronteras sin mayor trámite.

Esta desconfiguración de la típica separación entre ciencia básica y ciencia aplicada toma forma en la distinción entre biología molecular e ingeniería genética. Si antes de la mitad de los años sesenta la ingeniería genética vegetal era una quimera, después de lograr las primeras manipulaciones genéticas las interrelaciones de ellas no cesan. Actualmente los biólogos moleculares utilizan técnicas empleadas por los ingenieros genéticos para estudiar los procesos biológicos, y los ingenieros genéticos emplean los conceptos y las técnicas de análisis de los biólogos moleculares para intervenir en el genoma de la planta.

*III)* La biotecnología está generando nuevas articulaciones entre las innovaciones tradicionales y las de punta. Esto es particularmente claro en la síntesis del mejoramiento tradicional de plantas con

las técnicas biotecnológicas que es investigado por tres de las siete instituciones que observamos en esta investigación y una que pertenece a este estadio.

El interés en el mejoramiento asistido con marcadores genéticos moleculares muestra que la tecnología vegetal se integra a las semillas, como fue el caso de los avances en el mejoramiento tradicional. Esto evidencia que la biotecnología vegetal vendrá a integrarse a las técnicas tradicionales de selección vegetal, de modo que no será posible explotar las nuevas tecnologías sin programas eficaces de investigación vegetal o sin la participación de la industria semillera (Brenner, 1991: 30).

En los Estados Unidos no se han desechado las técnicas de mejoramiento tradicional. Por ejemplo, el Germoplasm Enhancement for Maize (GEM) que conduce el Latin American Maize Project (LAMP), que consiste en evaluar en diferentes campos experimentales alrededor de 12 000 variedades de maíz de América Latina y los Estados Unidos (Hardin, 1997). En México, una parte importante del gasto en la investigación en maíz se destina al financiamiento del mejoramiento vegetal tradicional. A diferencia de lo que ocurre en los Estados Unidos, la gran mayoría de los mejoradores mexicanos se muestran reacios a la asistencia de los marcadores genéticos moleculares para mejorar sus criterios de selección.

b) Si en el mundo la biotecnología se caracteriza por los nuevos papeles que cumple el sector privado, en México las cosas son muy diferentes. Según estimaciones de Echeverría, en 1988, 25 productores de semillas del sector privado habían invertido en las investigaciones sobre

el maíz 1.7 millones de dólares distribuidos entre 27 investigadores y 15 estaciones de investigación (Echeverría, 1988). De acuerdo con Brenner, las investigaciones de las empresas semilleras privadas se limitan a practicar ensayos sobre las semillas registradas de origen extranjero y no prevén desarrollar por sí mismas nuevas variedades a partir de germoplasma local (Brenner, 1991: 85).

Desde otro punto de vista, las empresas semilleras no se interesan en la formación de estas plantas. Las grandes empresas transnacionales se interesan por cubrir con sus semillas las grandes superficies de los Estados Unidos y de otros países, pero las empresas nacionales no cuentan con los capitales necesarios para desarrollar y poner en práctica el cultivo de maíces transgénicos. En las condiciones actuales de producción y comercialización del maíz, es poco probable que las empresas semilleras puedan responder a la demanda tecnológica de la enorme diversidad de productores y de condiciones ambientales de México (Brenner, 1991: 104-105).

Ninguno de los 13 investigadores participa con el sector privado nacional. Sólo tres investigadores ubicados en el segundo estadio tienen relaciones con empresas transnacionales; en un caso, se trata de probar líneas puras empleadas en la formación de híbridos comerciales de maíz; otro, sólo en intercambios de información, y en otro caso más, se busca patentar conjuntamente con una empresa alemana.

Es poco probable que los últimos progresos de las biotecnologías puedan ser explotados comercialmente en México, pues los maíces transgénicos desarrolla-

dos hasta la fecha tienen resistencias contra plagas que no son importantes en el país. Aunado a lo anterior, no se tiene en curso la formación de maíces transgénicos para algunas condiciones nacionales. En este sentido, la biotecnología mexicana del maíz no está generando cambios en el sector privado como en otros países.

c) Respecto a la formación de nuevas empresas de base tecnológica, los gobiernos de algunos países desarrollados apoyan la creación de empresas fundadas por los propios científicos. En nuestro caso, sólo un científico ha integrado una empresa de base tecnológica. Sin embargo, esta empresa no ha tenido el apoyo financiero para tratarla como incubadora susceptible de recibir apoyos gubernamentales, ni como empresa elegible para obtener financiamiento en forma de capital de riesgo.

d) En cuanto a la protección intelectual, los recientes desarrollos en reproducción asexual (conocida como apomixis) y la aceleración de estabilización de plantas clonadas con genes exóticos están provocando el desarrollo de medidas de confidencialidad y la obtención de patentes de procesos microbiológicos (Jefferson *et al.*, 1998).

El interés de las grandes empresas transnacionales de invertir en concluir los procesos de afinar tecnologías sobre la reproducción asexual del maíz, para su patentamiento, lleva a un laboratorio de ingeniería genética a implantar políticas de protección intelectual, promoviendo medidas de regulación externas y medidas de control de la información en el interior de los laboratorios.

El progreso de la aceleración de la clonación estabilizada plantea a los investi-

gadores del Cinvestav-I el tema de patentar procesos microbiológicos. Esto impone a las instituciones mexicanas y a los investigadores, papeles inéditos en la investigación biotecnológica vegetal. Si se tiene en cuenta que un investigador requirió seis meses de trabajo para patentar un proceso, eso plantea nuevas formas de organización del trabajo intelectual, de alianzas con disciplinas jurídicas y recursos financieros para patentar internacionalmente las innovaciones.

e) En las comisiones de regulación legal de la biotecnología participan algunos biotecnólogos del maíz. Su participación es crucial, toda vez que una parte importante de las solicitudes de investigación y de liberación de organismos modificados genéticamente se refieren a maíces transgénicos. En este dominio, existe cierta preocupación por desarrollar investigaciones sobre los riesgos de liberar organismos modificados genéticamente.

Un aspecto poco desarrollado en México se refiere al debate público. Mientras que en Europa y en los Estados Unidos existen grupos de presión en contra del maíz transgénico<sup>5</sup> y el debate público se extiende a múltiples grupos de interés, en México *aún* no se articula debate pú-

---

<sup>5</sup> Por ejemplo, en el Reino Unido, el príncipe Carlos se pronunció el 8 de junio de 1998 por una moratoria a la introducción de algunos granos genéticamente transformados resistentes a pesticidas, pero simultáneamente el ministro de la alimentación defendía los productos modificados genéticamente (BBC, 1998). También en el Reino Unido, durante el mes de agosto de ese año, un grupo de ciudadanos arrasaron un plantío de maíz transgénico.

blico alguno en torno a los artefactos biotecnológicos.

El tema de la investigación biotecnológica se compromete con razones éticas. Pero en el caso que nos ocupa, las investigaciones no se encuentran confrontadas directamente, puesto que, hasta ahora, los resultados obtenidos no ponen a los investigadores frente a la posibilidad de liberar plantas de maíz genéticamente modificadas al campo de la producción comercial o de vender productos originados de estos vegetales, como ocurre en Europa y en los Estados Unidos. Dicho de otra manera, el estudio concreto del estado de esta disciplina no ha orillado a los investigadores a confrontaciones en debates públicos sobre sus actividades.

A diferencia del primer estadio, el segundo es complejo en su producción disciplinaria; se crean asociaciones de ciencia básica y aplicada y de transformación genética y selección tradicional; se establecen estilos de trabajo en los que el manejo de la información se vuelve discreta, y en los que algunos científicos se interesan en participar en el campo empresarial.

#### REFLEXIONES FINALES

La biotecnología actual del maíz no provee tecnologías que puedan revolucionar el cultivo o el desempeño biológico de la planta en el corto plazo. Sin embargo, desde ahora se aprecia una serie de modificaciones que están provocando cambios en las relaciones sociales y en las sionaturales.

El grupo de biotecnólogos del maíz que hemos seguido por espacio de un año,

negocian con sus instituciones el establecimiento legítimo de sus laboratorios, para modificar las relaciones con la naturaleza del maíz y simultáneamente con otros actores sociales.

Los dos estadios en que se encuentra la biotecnología del maíz representan diferentes escenarios de relaciones sociales y específicamente de hombre/naturaleza. Por un lado, se aprecia un grupo de científicos concentrados en acrecentar su capital científico e institucional con el fin de lograr amplios márgenes de maniobra para movilizar la naturaleza del maíz y manipularla genéticamente para producir nuevos hechos científicos y artefactos. En este caso, la búsqueda de un centro de movilización de la naturaleza (laboratorio) se convierte en la actividad vital. Por otro lado, se aprecia un grupo de biotecnólogos que, instalados en sus laboratorios, movilizan la naturaleza genética del maíz en el nivel molecular para producir nuevos conocimientos e instrumentaciones técnicas, y que luchan por mantenerse a la vanguardia de la investigación biotecnológica, dentro de la cual el maíz es un instrumento metodológico o un objeto a modificar genéticamente, o ambas cosas.

En el transcurso de cada una de estas investigaciones, se generan situaciones que trascienden los ámbitos de los laboratorios. De esta manera, la IBtMaíz está provocando transformaciones en los planos de algunos campos de la tecnociencia, de la relación entre científicos y otros actores sociales, de las mutaciones de los científicos en empresarios, de la propiedad intelectual y de las regulaciones y debates públicos en torno a la biotecnología.

Finalmente, encontramos que los es-

tudios situados de la tecnociencia pueden mejorar la comprensión de los procesos de investigación y colaborar en el rompimiento del círculo de estudios sociales que se concentran en estudiar las repercusiones de la tecnología. Una vez realizada la caracterización de la investigación biotecnológica, resta para trabajos posteriores abordar el estudio de las prácticas científicas y de sus implicaciones en la construcción de redes sociotécnicas<sup>6</sup> y otros aspectos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ÁNGELES ARRIETA, Herminio (1968), "El maíz y el sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México", en *Memorias del Tercer Congreso de Fitogenética*, México, Sotefi, pp. 383-446.
- ARELLANO HERNÁNDEZ, Antonio (1999), *La producción social de los objetos técnicos agrícolas: antropología del mejoramiento del maíz y de los agricultores de los Valles Altos de México*, Toluca, UAEM, pp. 86-110.
- ARELLANO HERNÁNDEZ, Antonio y Claudia ORTEGA PONCE (en prensa), "Las redes sociotécnicas en torno a la investigación biotecnológica en México (el caso de la biotecnología del maíz)", en *Memorias del primer seminario internacional: Tecnología, Industria y Territorio*, México, CIESAS/UNAM/UAEM.
- ARROYO, Gonzalo y Mario WAISSBLUTH (1988), *Desarrollo biotecnológico en la producción agroalimentaria de México: orientaciones de política*, México, CEPAL-ONU.
- BAARK, Eric (1991), "El discurso internacional sobre política biotecnológica: el caso de la bioseguridad", *Revista Mexicana de Sociología*, vol. LIII, núm. 2, México, pp. 3-18.
- BBC (1998), lunes 8 de junio, distribuido por Internet, Londres.
- BARNES, Barry (1993-1994), "Cómo hacer sociología del conocimiento", *Política y Sociedad*, núms. 14-15, Madrid, pp. 9-19.
- BLOOR, David (1976), *Knowledge and Social Imagery*, Londres, Routledge, pp. 12-58.
- BRENNER, Carliene (1991), *La biotechnologie et l'agriculture des pays en développement*, París, OCDE.
- BULL A., T., G. HOLTL y O. LILLY M. (1982), *International Trends Perspectives in Biotechnology: A State of The Art Report*, París, OCDE.
- BUNCE, James (1986), "Measurements and Modelling of Photosynthesis in Field Crops", *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 4, núm. 1, Washington, pp. 47-77.
- CALLON, Michel (1986), "Éléments pour une sociologie de la traduction, la domestication des coquilles Saint-Jacques et des Marins-pêcheurs dans la Baie Saint-Brieuc", *L'Année Sociologique*, vol. 36, París, pp. 169-208.
- (1989), "Introduction", en Michel Callon, *La science et ses réseaux, genèse et circulation des faits scientifiques*, París, La Découverte, pp. 7-33.
- CASAS, Rosalba (1992), *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México, UAM-A/UNAM.
- (1993), *La investigación biotecnológica en México: tendencias en el sector agroalimentario*, México, Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, pp. 65-111.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina (1982), *Economía campesina y agricultura empresarial (Tipología de los agricultores del agro mexicano)*, México, Siglo XXI, pp. 40-92.
- ECHEVERRÍA, Rubén (1988), *Public and Private Sector Investment in Agricultural Research: The Case of Maize*, tesis de doctorado, St. Paul, University of Minnesota.
- ENGELKE, G. L. (1997), "Advances in Corn

<sup>6</sup> Véase Arellano H. y Ortega P. (en prensa).

- Hybrids Bring Change", *FeedStuffs*, vol. 69, núm. 20, Estados Unidos, Ann Arbor, mayo, p. 5.
- FAO, *Statistics*, París, FAO-UNESCO (1997), <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>.
- FARLEY, John y L. Gerald GEISON (1991), "Le débat entre Pasteur et Pouchet: Science politique et génération spontanée au 19 siècle en France", en Michel Callon y Bruno Latour, *La science telle qu'elle se fait*, 2a. ed., París, Pandore, pp. 87-145.
- GILLILIAND, Martha (1988), "A Study of Nitrogen Fixing Biotechnologies for Corn in México", *Environment*, vol. 6, núm. 2, abril, Estados Unidos, pp. 28-45.
- GORDON, Sara (1991), "Presentación", *Revista Mexicana de Sociología*, vol. 53, núm. 2, México, Instituto de Investigaciones Sociales, Biología, UNAM, p. XV.
- HARDIN, B. (1997), *Corn Breeding Enters a New Era. Corn Insects and Crop Genetics Research*, Ames, Iowa.
- HERDT, Robert (1989), "Summaries of Commissioned Papers. Biotechnology Study Project Papers", en *World Bank, ISNAR, AIDAR, ACIAR*, Washington, pp. 12-18.
- HERRERA, Luis, Ann DEPICKER, Van Marc MONTAGU y Jeff SCHELL (1983), "Expresion of Chimaeric Genes Transferred into Plant Cells Using a Ti-plasmid-derived Vector", *Nature*, vol. 303, núm. 19, mayo, Londres, Macmilland Publishers, pp. 209-213.
- (INIFAP) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (1999), *INIFAP produce*, México, INIFAP, pp. 1-3.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1994), *Estados Unidos Mexicanos: Resultados definitivos, VII Censo Agrícola Ganadero*, ts. I y II, México, INEGI.
- JAMES, Clive (1988), *Strengthening Collaboration in Biotechnology: International Agricultural Research and the Private Sector*, Proceedings of a Conference held, Rossyn, Rossyn, abril, pp. 17-21.
- JEFFERSON, Richard, Ueli GROSSNIKLAUS, Van LOOKEREN, Michel BELLAGIO (1998), *Apo-mixis Declaration, Bellagio*, Italia, 27 de abril-1 de mayo, 2 p.
- JONES, Karl (1987), *Gradient of Biotechnologies (mimeographed)*, International Center for Research in the Semid-Arid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India.
- JUGENHEIMER, Robert (1981), *Maíz, variedades mejoradas y métodos de cultivo y producción de semillas*, México, Limusa.
- KENNY, Martin (1991), *Biotechnology: The University-Industrial Complex*, Yale, Yale University Press, pp. 56-64.
- LATOUR, Bruno (1991), "Sommes-nous postmodernes? No, Amodernes!, etapes vers une Anthropologie des sciences", en Robin Horton, *La pensée metise. Croyances africaines et rationalité occidentale*, París, Caille de Itued/PUF, pp. 45-68.
- LIOUVILLE, Jacques (1981), "Les pays les plus avancés en biotechnologie et la France", *Revue de Économie Industrielle*, núm. 18, 4o. trimestre, París, pp. 365-380.
- LYNCH, Michael (1982), "Technical Work and Critical Enquiry: Investigations in a Scientific Laboratory", en *Social Studies of Science*, vol. 12, núm. 1, Londres, pp. 95-123.
- (1985), "La rétine exteriorisée. Selection et mathématisation des documents visuels", *Culture Technique*, núm. 14, París, pp. 108-122.
- MASSIEU, Yolanda (1990), "Crisis agropecuaria, neoliberalismo y biotecnología", *Revista Sociológica*, núm. 13, México, pp. 99-123.
- MATUS, Jaime, Arturo PUENTE y Cristina LÓPEZ (1990), *Biotechnology and Developing Country Agriculture: Maize in México*, México, OCDE, pp. 1-55.
- MESTRIES, Francis (1990), "Los posibles impactos de la biotecnología en la agricultura mexicana", *Revista Sociológica*, núm. 13, México, pp. 59-99.
- MULKAY, Michael y David EDGE (1982), "La influence des facteurs cognitifs, techniques et sociaux sur le développement de la radio-

- astronomie”, en Michel Callon y Bruno Latour, *La science telle qu'elle se fait*, París, Pandore, pp. 45-94.
- PHILLIPS, Ronald (1998), “Maize Genetic Engineering Update”, *Magazine Proceedings of Scientific Conference Sponsored by Corn Refiners Association*, St-Louis Missouri St. Paul, septiembre, pp. 18-21.
- PIÑEIRO, Martín (1988), “La modernización agrícola y sus vínculos intersectoriales en el desarrollo de América Latina”, *Comercio Exterior*, vol. 38, núm. 8, México, agosto, pp. 694-710.
- SÁNCHEZ, Estela (1978), “Tissue Culture Studies in Maize, IATPC”, *New Letters*, núm. 25, Ann Arbor, pp. 27-28.
- SHAPIN, Steven y Simon SCHAFFER (1993), *Leviathan et la pompe a air. Hobbes et Boyle entre science et politique*, París, La Découverte.
- (SMBB) Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería (1996), *Fronteras en biotecnología y bioingeniería*, México, SMBB.
- STAIMBERG, Irwing (1994), *Report of Tortilla Industry Association (TIA)*, Los Ángeles, TIA, pp. 12-14.
- SUNDQUIST, W. Burt (1989), “Emerging Maize Biotechnologies and Their Potential Impact”, en *Documents techniques del Centre de Développement de l'OCDE*, núm. 8, París, OCDE, octubre.
- SUNDQUIST, W. Burt, Kenneth Ann MENZ y F. Catherine NEUMEYER (1982), “A Technology Assessment of Commercial Corn Production in United States”, *Station Bulletin*, núm. 546, University of Minnesota, pp. 7-29.
- TURRENT FERNÁNDEZ, Antonio (1993), *El Pronamat*, México (inédito).
- (USDA) United States Department of Agriculture (1998), *Economic Research Service, Crop Year*, s/p.
- VEGA, Fernando (1989), “Posibles consecuencias ecológicas y limitantes de la biotecnología agrícola”, en *Revista Nueva época textual (análisis para el medio rural)*, núm. 25, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 12-16.
- WELLHAUSEN, Edwin (1951), *El maíz híbrido y su utilización en México*, México, OEE-SAG, pp. 5-25.