

La mirada genética: el secuenciamiento del genoma del arroz en China*

David Schleifer**

Departamento de Sociología
Universidad de New York, Estados Unidos

En el año 2002, la revista *Science* publicó una secuencia preliminar del genoma del arroz índico, ensamblado con extraordinaria celeridad por el Beijing Genomics Institute (BGI) de China. Este artículo estudia la publicación de esta secuencia en la revista *Science* como un ejemplo de la práctica de lo que el autor ha denominado *seeing in genes*: este concepto incluye una variedad de prácticas sociales en las cuales diferentes tipos de actores sociales representan organismos en términos de sus genes, e intervienen en la vida de los organismos a través del uso de información genética. El hecho de que China eligiera a su cultivo de mayor importancia como objeto de una mirada genética surge como consecuencia de las terribles hambrunas sufridas por esta nación en tiempos recientes. La descentralización del sistema científico chino permitió a un grupo de científicos capacitarse en el exterior y fundar el BGI a través de la acumulación de diversas fuentes de financiamiento. La imagen de la ciencia como medio de salvación para el país, y el lugar de prestigio otorgado a la capacidad de avanzar por medios propios, hizo que, a través de la práctica de *seeing in genes*, se obtuviera la secuencia preliminar publicada en la revista *Science*. Cuantos más organismos se convierten en objeto de una mirada genética, cuanto más lucrativa se vuelve la manipulación genética y cuanto más se difunde el uso del material genético, más actores se interesan en preservar el concepto de gen y en hacer partícipes a otros del modo genético de mirar el mundo.

131

Palabras clave: secuenciamiento genético, China, genetismo.

In 2002, the journal Science published a draft sequence of the indica rice genome assembled with remarkable speed by the Beijing Genomics Institute (BGI). This article examines the publication of BGI's draft sequence of the rice genome in Science as an instantiation of the practice of seeing in genes. Seeing in genes includes a range of social practices whereby different kinds of social actors represent organisms in terms of their genes, and intervene in the lives of organisms through the use of genetic information. The choice of China's most important crop as an object of the genetic gaze emerged from that nation's recent history of severe famine. A decentralized scientific infrastructure allowed Chinese scientists to train abroad and to found BGI by amassing funding from a diversity of sources to. The image of science as a means of national salvation and the premium placed on self-reliance lashed-up with the global practice of seeing in genes to produce the draft sequence of the rice genome published in Science. As more organisms become subject to the genetic gaze, as genetic manipulation becomes more lucrative, and as the use of genetic material becomes more widespread, more actors gain an interest in preserving the concept of the gene and in enrolling others into the genetic way of seeing.

Key words: genetic sequencing, China, geneticism.

* Versión original en inglés. Traducido por Felipe Vismara.

** Este artículo está dedicado a la memoria de Dorothy Nelkin. El autor agradece a Harvey Molotch, Dorothy Nelkin, Ana Vara, Jonathan Taylor, Will McCormack, Jill Conte, Sarah Kaufman, Shirley Sun, M. Susan Lindee y Richard Stewart por su colaboración en diferentes etapas de la elaboración de este documento. Se pueden obtener copias en inglés de este trabajo solicitándolas por correo electrónico al autor, david.schleifer@nyu.edu.

1. Introducción

El 5 de abril del año 2002, la revista *Science* publicó una secuencia preliminar del genoma del arroz índico ensamblado por el Beijing Genomics Institute (BGI) con notable velocidad (Normile, 2002; Yu et. al., 2002). La publicación de la secuencia preliminar del genoma de la variedad de arroz más cultivada en China en una de las revistas más reputadas de su disciplina, fue señalada por el Primer Ministro Zhu Rongji como “un logro extraordinario” que prueba que “China se encuentra entre los países más avanzados” (Zhu, 2003). Uno de los comentarios que acompañaban la mencionada publicación del genoma decía: “los nuevos conocimientos y herramientas genéticas basados en estas secuencias permitirán a los científicos avanzar sobre problemas insolubles que restringen la productividad de los cultivos en los países en desarrollo” (Cantrell y Reeves 2002, 53). Los directores generales del International Rice Research Institute y del International Maize and Wheat Improvement Center pronosticaron que las investigaciones del BGI se convertirían en “el primer proyecto de secuenciación que ofrecería resultados tangibles para la humanidad desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y la lucha contra la desnutrición” (Cantrell y Reeves 2002, 53).

132

De hecho, el esfuerzo para secuenciar el BGI debe ser situado dentro del contexto de las hambrunas experimentadas por China en tiempos relativamente recientes - cerca de treinta millones de personas murieron de inanición entre 1958 y 1962 - (Li, 1982). No obstante, al igual que en otros proyectos de secuenciación, los “resultados tangibles” del secuenciación preliminar del genoma del arroz desarrollado por el BGI están todavía pendientes de materializarse en la forma de productos alimenticios distribuidos comercialmente. La hipótesis de Griliches-Schmookler sostiene que el área sembrada con un cultivo en una región dada determina la cantidad de recursos que se destinarán en ese lugar a la investigación de ese cultivo; y el arroz es, de hecho, el cultivo más importante para consumo humano en China y en el resto del mundo (Griliches, 1957; Schmookler, 1966; Lin, 1992). Sin embargo, el secuenciación genético no es la única forma de estudiar el arroz, y la hipótesis de Griliches-Schmookler no explica cómo es que el BGI decidió estudiar el arroz al nivel de sus genes. Sostengo aquí que la publicación en la revista *Science* de la secuencia preliminar del genoma del arroz desarrollada por el BGI es un resultado tangible de la práctica de *seeing genes*: este concepto incluye una variedad de prácticas sociales en las cuales diferentes tipos de actores sociales *representan* a los organismos en términos de sus genes, e *intervienen* en la vida de estos organismos a través del uso de información genética. ¿De qué manera confluyeron el arroz, la mirada genética y el BGI en el marco de la infraestructura científica descentralizada de China para lograr el secuenciación del genoma del arroz publicado por el BGI en *Science*?

2. ¿Por qué los genes?

Harvey Molotch (2003) desarrolló el término “*lash-up*” -“anudar” o, más genéricamente, “converger”- para describir cómo las ideologías, tecnologías,

materiales, instituciones y oportunidades se *sincretizan* en la creación y distribución de objetos físicos. Con el objetivo de captar las dimensiones simultáneas -discursiva, social y material- de *seeing in genes*, he decidido adaptar los términos de Ian Hacking “representar” e “intervenir” (Hacking, 1983; Latour, 1993). Hacking dice: “las teorías intentan decir cómo es el mundo. El experimento y la tecnología subsiguiente cambian el mundo. Representamos e intervenimos. Representamos para poder intervenir, e intervenimos a la luz de representaciones” (Hacking, 1983, 31). La genética es una de esas teorías; en ella se representa a los organismos como compuestos de entidades materiales discretas llamadas genes. Los genes son representados como agentes dotados de una vitalidad consciente, y capaces de determinar el curso de toda vida sobre la faz de la tierra (Kay, 2000; Keller, 2000). *Seeing in genes* descansa sobre la creencia de que los genes determinan el curso de la vida de todos los organismos, y esta imagen de “libro de la vida” brinda una narrativa atractiva que incluye estructura, concurrencia y causalidad para lo que es percibido como el nivel de existencia más fundamental (Kay 2000; Lewontin, 1991). Si bien esta representación no refleja la concepción más actualizada sobre qué son los genes y cómo funcionan, constituye un discurso sencillo y poderoso que lleva a varios tipos de actores sociales a examinar, modificar y sacar provecho del material genético de los humanos, de las plantas y de otros organismos (Kay, 2000; Keller, 2000). De esta manera, el líder del proyecto de secuenciamiento del arroz del Torrey Mesa Research Institute (TMRI) de Syngenta Corporation, cuyos resultados también fueron publicados en *Science* el 5 de abril de 2002, afirmó que “la aplicación continua de herramientas genómicas y biotecnológicas para el mejoramiento de los cultivos será *necesaria* para superar los desafíos futuros vinculados a alimentos, salud y materiales” (Goff et. al., 2002: 100; las bastardillas son mías).

133

La representación de organismos en términos de su material genético presenta a los genes como entidades existentes, convirtiendo la búsqueda y utilización de información genética en investigación básica esencial. Los proyectos de secuenciamiento y otros tipos de investigaciones genéticas, a su vez, confirman lo real de los genes. Al describir a los genes como parte de un sistema de representación, no es mi intención insinuar que se trate de meras quimeras culturales (Kuhn, 1996, 1962; Hacking, 1983). *Seeing in genes* crea las condiciones necesarias para intervenir en organismos a nivel genético, o sobre las bases de información genética. Estas representaciones e intervenciones crean nuevos tipos de organismos, actores, sistemas de significación y estructuras de poder que hacen meridionalmente clara la realidad de los genes.

Si la representación de los organismos en términos de sus genes requiere de la búsqueda, organización y estudio de información genética, entonces la intervención a nivel genético implica el uso de tal información para resolver problemas en las cortes, hospitales, granjas, así como en otros escenarios. Si bien Hacking desarrolló los conceptos de representación e intervención para explicar el trabajo de ciertos físicos, estos términos también describen cómo otros actores ven a través de los genes (Hacking, 1983). Entre estos actores se incluyen los productores agropecuarios y las compañías que les venden las semillas, los gobiernos nacionales y los expertos que los asesoran, así como también los científicos y las instituciones

que los financian. Los jueces y los abogados ponen en práctica operaciones de *seeing in genes* cuando utilizan material genético para identificar criminales; las compañías de seguros ponen en práctica *seeing in genes* cuando rechazan clientes por enfermedades hereditarias; los publicistas ponen en práctica *seeing in genes* cuando anuncian que un automóvil BMW posee “ventajas genéticas” con respecto a sus competidores (Nelkin y Lindee, 1995: 1). Callon utiliza el término “*enrollment*” - “enrolamiento”, “hacer partícipe”- para referirse a las acciones y negociaciones a través de las cuales una entidad impone y establece sobre otros actores una determinada forma de problematizar una situación dada (Callon, 1999; 1986). Así como la ley, la medicina, la publicidad, la cultura popular, los seguros, la educación, el matrimonio, la edad a la que se tienen los hijos, y la agricultura se ven cada vez más enroladas en el paradigma genético, los humanos, las plantas y los animales están cada vez más sujetos a una mirada genética (Nelkin y Lindee, 1995; Clarke et. al., 2003).

Debido a que el enrolamiento en el paradigma genético implica un corte a través de tantos campos, instituciones y naciones diferentes, es muy difícil medir el ámbito de aplicación de la mirada genética (Pray et. al., 2002). Una forma de estimar el enrolamiento global en *seeing in genes* es rastrear la cantidad y distribución de los fondos destinados a la investigación -si bien el BGI no fue creado con una asignación directa de fondos por parte del gobierno central de China, y su éxito se debió, en parte, a la utilización de insumos y mano de obra económicos. A pesar de esto, las diez corporaciones de biociencias más grandes del mundo gastan entre 1.000 y 1.500 millones de dólares por año en investigación en biotecnología agrícola, lo cual representa cerca del 40% de su gasto total en investigación y desarrollo (Byerlee y Fischer, 2001; FAO, 2003). Dentro de la biotecnología agrícola se incluyen proyectos de secuenciamiento como el del BGI, y también las actividades de investigación y desarrollo de cultivos modificados genéticamente (OGM). Los gobiernos de los países industrializados destinan entre 900 y 1.000 millones de dólares al año a este tipo de investigaciones, lo que representa aproximadamente el 16% de sus gastos en I+D (Byerlee y Fischer, 2001; FAO, 2003). Los países en desarrollo gastan sólo entre 100 y 150 millones de dólares por año, o entre el 5% y el 10% de su gasto total en I+D; a esta suma se agregan entre 40 y 50 millones de asistencia externa, y entre 25 y 50 millones del CGIAR - Consultative Group on International Agricultural Research (Byerlee y Fischer, 2001; FAO, 2003). Las corporaciones privadas lideran la biotecnología agrícola, seguidas por los gobiernos de las naciones industrializadas (Clarke, 2002; Huang et. al., 2002a; ISAAA, 2004).

Durante los últimos cincuenta años, China construyó lo que se conoce como el sistema de investigación agrícola más exitoso del mundo no desarrollado (Huang et. al., 2002a). Si bien estos esfuerzos no estuvieron orientados a la biotecnología aplicada a plantas hasta mediados de la década de los años ochenta, en 1999 China ya destinaba 112 millones de dólares por año a esta actividad, y estaba financiando el estudio de, al menos, cincuenta especies de cultivos diferentes (Huang et. al., 2002a). Zhu Zhen, director adjunto de la Oficina de Ciencias de la Vida y Biotecnología de la Academia China de Ciencias (CAS, por su sigla en inglés), estima que los programas destinados al arroz GM representan entre el 25% y el 30% del

gasto en biotecnología agrícola en China (ISAAA, 2004). En 1999 estas investigaciones representaban el 9,2% del presupuesto nacional para la investigación de cultivos, y en 1986 el 1,2% (Huang et. al., 2002a). En 1999, el gasto realizado por China representó el 10% del gasto público mundial en este tipo de investigación (Huang et. al., 2002a). Si el gobierno alcanza su meta de aumentar en un 400% el presupuesto para investigación en biotecnología aplicada a plantas antes del 2005, China será responsable de un tercio del gasto público mundial en esta área (Huang et al, 2002a). Entre 1999 y 2004 el gasto en biotecnología agrícola realizado por el gobierno de China sólo fue superado por los Estados Unidos (Huang et. al., 2002a; ISAAA, 2004).

Si bien la modificación genética de una planta no requiere del secuenciamiento de su genoma, el cultivo de OGM se encuentra entre aquellas intervenciones ocasionadas por la mirada genética. En ninguno de los OGM cultivados actualmente se había practicado el secuenciamiento de sus genomas. Sin embargo, en el año 2003 los 18 países que los utilizaron, ocuparon 67.7 millones de hectáreas con estos cultivos, lo que representa un aumento del 2000% con respecto a los 2.8 millones de hectáreas cultivadas en el año 1996 (FAO, 2003). Dos de los cultivos transgénicos más ampliamente difundidos son el algodón y el maíz modificados para resistir plagas. Esta modificación consiste en la adición de genes de una bacteria pesticida que anteriormente era aplicada a estas plantas a través de medios convencionales. Estos cultivos se conocen por el nombre de algodón Bt y maíz Bt, en referencia a la bacteria *bacillus thuringiensis*, cuyos genes contienen. Los otros dos cultivos transgénicos más conocidos son la soja RR (soja Round-up Ready) y la colza RR (canola Round-up Ready). Estos cultivos se modifican para resistir el *Round-up*, un herbicida que la corporación Monsanto comercializa conjuntamente con las semillas de soja RR y colza RR, cuyas patentes posee. Estos cuatro cultivos, modificados a los fines mencionados y utilizados en tan sólo seis países, representan el 99% del total de cultivos GM en el mundo entero (James, 2003). En el año 2003, los principales productores de estos cultivos fueron Estados Unidos, Argentina, Canadá, Brasil, China y Sudáfrica, en ese mismo orden (James, 2003). Tanto en Sudáfrica como en China el cultivo de GM aumentó un 33% entre los años 2002 y 2003, representando los mayores aumentos anuales a nivel nación (James, 2003). El CAS lleva adelante las pruebas de arroz GM más importantes a nivel mundial, y sus investigadores han desarrollado numerosas variedades de arroz resistentes a los pesticidas, entre los que se incluye el arroz Bt. El International Rice Research Institute estima que el arroz Bt será el primer arroz transgénico cultivado con fines comerciales en China o en cualquier otra parte del mundo (IRRI, 1997). Sin embargo, al día de hoy China no ha aprobado el cultivo comercial de ninguna variedad de arroz GM (ISAAA, 2004).

135

3. ¿Por qué el secuenciamiento?

Dado que se puede modificar genéticamente las plantas sin secuenciar sus genomas, los proyectos de secuenciamiento no responden a los intereses inmediatos comerciales y gubernamentales de aumentar el rendimiento de los cultivos y los

beneficios que de ellos se obtienen. El Proyecto Genoma Humano, por ejemplo, le costó aproximadamente 2.700 millones de dólares al National Institutes of Health y al Department of Energy de los Estados Unidos (NIH, 2003), pero las terapias génicas no resultaron exitosas en las pruebas experimentales, y ninguna de ellas logró la aprobación de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos (Human Genome Project, 2004).

Japón, Estados Unidos, China, Taiwán, Corea, India, Tailandia, Francia, Brasil y el Reino Unido han cooperado con el *International Rice Genome Sequencing Project* (IRGSP) desde 1997, en un esfuerzo por secuenciar la variedad japonesa de arroz. Inicialmente, este proyecto fue financiado con las ganancias obtenidas por la industria japonesa de las carreras de caballos (Bennetzen, 2002; Leach et. al., 2002). Al igual que los esfuerzos del BGI para secuenciar la variedad índica de arroz, tampoco ha llegado todavía a materializarse en aplicaciones comerciales.

Aunque tengo una posición renuente a enfatizar la distinción entre investigación básica y aplicada, o entre ciencia y tecnología, debo decir que hasta ahora los proyectos de secuenciamiento no han logrado producir tecnologías que puedan ser aplicadas más allá del mundo de la genómica en el cual dichos proyectos se manejan. Aún así, “los resultados obtenidos en la investigación normal son significativos porque incrementan el alcance y la precisión con los cuales el paradigma puede ser aplicado” (Kuhn 1996; 1962: 36). Los proyectos de secuenciamiento han alcanzado un estatus política y socialmente muy valorado debido a que brindan una medida de precisión para la genética; un campo que ha alcanzado el estatus de “problema central de la biología” (Judson, 1992: 37).

136

Ya en 1906, antes de que el término “gen” fuera acuñado, se suponía que objetos discretos y materiales, comparables a los átomos, eran los causantes de la herencia de rasgos fenotípicos entre organismos de distintas generaciones (Keller, 2000). Esta representación de la herencia es consistente con la tradición cartesiana, según la cual, siguiendo a Kuhn, los científicos del siglo XVII sostenían que el universo estaba “compuesto por corpúsculos microscópicos, y todo fenómeno natural podía ser explicado en esos términos” (Kuhn, 1996; 1962: 41). En 1944, Avery, MacLeod y McCarty demostraron que el ADN era el portador de la herencia. En 1953, Watson y Crick descubrieron la estructura de la doble hélice del ADN, y postularon que las secuencias de pares de bases de esta molécula determinan la estructura somática de todo organismo. El “dogma central” de Crick sostenía que “el ADN crea el ARN, el ARN crea las proteínas, y las proteínas nos crean” (Keller, 2000: 54). Para los años cincuenta, los genetistas ya habían advertido que “el material genético no permanece aislado del metabolismo celular”, sino que está “sujeto a los caprichos de la actividad celular”, del organismo y del ambiente (Keller, 2000: 27-28). No obstante, una creencia determinista y reduccionista en “un programa centralizado de desarrollo basado en el genoma” comenzaba a tomar sentido, a movilizar dinero y a ocupar un lugar en la agenda de investigación (Keller, 2000: 94). “La ideología de la ciencia moderna, incluyendo a la biología, hace del átomo la fuente causal de todas las propiedades de agrupamientos mayores (...) a los seres vivos se los ve como determinados por factores internos: los genes” (Lewontin, 1991: 13).

Lily Kay ve como históricamente específico el proceso a través del cual “el problema de la síntesis de proteínas, central para la biología, acabó siendo representado como un código de información y una tecnología de escritura -y consecuentemente como un libro de la vida: es parte del producto cultural de la Era Nuclear, y el legado de la Guerra Fría; su poder es amplificado por las connotaciones teísticas a lo largo del milenio”. (Kay, 2000: xv-xvi). De acuerdo con Hacking, “aceptar y rechazar teorías es más bien una parte menor de la ciencia” (Hacking, 1983: 15). En cambio, una vez que una representación adquiere el estatus de ciencia normal, asume una capacidad para estructurar la acción (Kay, 2000). Ver el mundo en términos de genes (o átomos, o desviados sexuales, o terroristas) establece los enigmas a resolver, las entidades a medir, y la forma en que el dinero, el estatus y otros bienes son distribuidos. “Aunque sus resultados puedan ser anticipados (...) llegar a la conclusión de un problema de investigación normal es alcanzar lo anticipado, pero de una nueva manera” (Kuhn 1996; 1962: 36).

Seeing in genes ha engendrado esfuerzos de secuenciación tales como el Proyecto del Genoma Humano, el proyecto del arroz índico del BGI, los proyectos del arroz japonés del TMRI y del IRGSP, entre otros (Keller, 2000). Para que sean legibles o, al menos útiles, los genes deben ser extraídos, secuenciados y almacenados como información.¹ Paradójicamente, los proyectos de secuenciación han desestabilizado el determinismo genético al revelar que los genes no son entidades aisladas, no actúan como cerebros celulares autónomos, y no controlan el desarrollo biológico en forma exclusiva (Keller, 2000; Silverman, 2004). Las cadenas de ADN entablan una serie de interacciones dinámicas las unas con las otras, con el resto de la célula, con el organismo, y con el ambiente. Descifrar la secuencia genómica de largas hebras de ADN tiene poco efecto en la dinámica del desarrollo, un fenómeno que socava la imagen de un libro de la vida en la que cada palabra es preciosa (Keller, 2000). Las secuencias involucradas en la expresión de rasgos fenotípicos están interrumpidas en varias partes, son redundantes, se solapan, están sujetas a variaciones aleatorias y otras fuentes de ruido cromosómico. *Seeing in genes* ha producido resultados que ponen en duda la práctica de referirse a la secuencia del ADN como entidades discretas denominadas “genes”.

137

El paradigma genético reduccionista que estableció al secuenciación como investigación básica condujo a esta representación más compleja de la acción genética (Silverman, 2004). Los paradigmas científicos representan el pasado de un campo como si éste condujera inexorablemente hacia el futuro que se le proyecta, mientras que oscurecen el papel de los enfoques descartados (Kuhn, 1996, 1962; Kloppenburg, 1988). Pero esta representación más compleja de la genética no ha impedido que los actores sigan observando desde la óptica de *seeing in genes* e intervengan sobre la bases de la información genética, en especial, más allá de los confines de los laboratorios genéticos. Cuantos más organismos se vuelven sujetos de la mirada genética, cuanto más lucrativa se vuelve la manipulación genética, y

¹ En los Estados Unidos, por ejemplo, las instituciones médicas pueden beneficiarse a partir del material genético extraído de un individuo, pero no están obligadas a compartir ese beneficio con el portador original de dicho material (Moore v. Regents of the University of California, 1990).

cuanto más se difunde el uso de material genético, más actores se interesan en preservar el concepto de gen y en enrolar a otros actores para que adopten una mirada genética sobre las cosas (Callon, 1999, 1986; Keller, 2000). La ciencia agrícola todavía necesita de teorías y técnicas no genéticas para poder convertir una semilla que ha sido modificada genéticamente con éxito en un laboratorio en un cultivo GM cultivado exitosamente en los campos. Pero ahora que los investigadores agrícolas abordan los organismos a través del estudio o manipulación de sus genes, la genética ha quedado representada como la mejor forma de enfrentarse a las necesidades alimenticias de los humanos. Así, un grupo de genetistas cuyos comentarios acompañaron el boceto de las secuencias del arroz publicado en *Science*, dijeron a sus lectores que “la obtención de la secuencia del genoma del arroz es, claramente, una oportunidad para lograr hacer algo en beneficio de toda la humanidad”, pero reconocieron que “todavía no comprendemos cómo valorar una secuencia finalizada o bajo qué condiciones puede garantizarse su altísimo costo” (Leach et. al., 2002: 45).

4. El bol de arroz de hierro

Antes de que las herramientas genéticas estuvieran disponibles “para el beneficio de toda la humanidad”, el gobierno chino ya realizaba esfuerzos para atender las necesidades alimentarias de su pueblo. Algunos estudiosos sostienen que el desarrollo de proyectos de irrigación, sistemas de distribución de alimentos, y el establecimiento de normas sobre el uso de las tierras demuestran que el estado imperial se consideraba obligado a alimentar principalmente a la población agraria (Chang, 1976; Sigurdson, 1980; Li, 1982). Entre los esfuerzos realizados por el estado, pueden incluirse el establecimiento de medidas para el control de las inundaciones en el 700 A.C, el compromiso de los funcionarios para supervisar los controles sobre las plantaciones y sobre el uso del agua en el 400 A.C., y el cultivo selectivo de variedades de arroz resistentes a las sales, que comenzó cerca del año 0 (Chang, 1976; Huang et. al., 2002a). La incapacidad para proveer de sustento al pueblo era tomada como un signo de decadencia inmanente de la dinastía, y las catástrofes recurrentes presagiaban la pérdida del Mandato Divino, que era el derecho de una dinastía a gobernar. Otros expertos responden que al gobierno imperial sólo le preocupaba que el alimento llegara a la capital, y descartan la relación entre un estado burocrático centralizado y la distribución de alimentos a través del imperio (Volti, 1982).

A pesar todos los esfuerzos del estado chino por administrar la producción y la distribución de alimentos, cualesquiera que éstos hayan sido, China ha sufrido regularmente de escasez de alimentos en mayor escala que cualquier otra nación en la historia (Li, 1982). La población china se duplicó de 150 a 300 millones durante el siglo XVIII. En el siglo XIX el continuo crecimiento de la población aumentó las presiones alimentarias sobre una nación que estaba amenazada por las potencias coloniales y las rebeliones internas, y cada vez más cargada de deudas. Entre los factores que típicamente determinan las hambrunas y las faltas de alimento, se pueden mencionar los sistemas de comunicación y de distribución deficientes, la

inestabilidad política, y las guerras. En el siglo XIX, estas fuerzas políticas y sociales hicieron que una serie de inundaciones, sequías y pestes más graves de lo usual resultaran más difíciles de sobrellevar para los agricultores y distribuidores. Esta confluencia de factores derivó en una sucesión de hambrunas y crisis alimentarias que afectaron a 261 millones de personas y provocaron cerca de 25 millones de muertes entre 1876 y 1931 (Li, 1982). En 1949, cuando se fundó la República Popular China, se creó una red multifacética de seguridad social, coloquialmente conocida como “el bol de arroz de hierro”, destinada a asegurar alimento, hogar, salud y educación a toda la población china. Esta red de seguridad social comenzó a deteriorarse a un ritmo constante a partir de las reformas económicas iniciadas en los años ochenta; el empleo garantizado de por vida fue eliminado con la sanción de la Ley del Trabajo de 1994.

El bol de arroz de hierro expresaba un ideal que a menudo se alejaba radicalmente de la realidad. Entre 1958 y 1962 China sufrió lo que se conoció como la peor hambruna en la historia de la humanidad (Li, 1982). Aunque la caída del 25% en la producción de granos de esos años obedeció en parte a causas naturales, se la atribuyó en buena medida al “Gran salto hacia adelante”, aquel intento de Mao de lograr una rápida industrialización que provocó la sobreutilización de la tierra y el re direccionamiento de la energía desde el agro hacia la industria. Durante esos años, entre 25 y 30 millones de personas murieron de inanición, y hubo entre 25 y 33 millones de nacimientos menos de lo esperado. Aún en 1981, 130 millones de personas fueron afectadas por la escasez de alimentos, 21 millones de ellas en forma grave (Li, 1982; Ashton, 1984; Peng, 1987).

139

La palabra arroz en chino es sinónimo de comida. El arroz es el más importante de los cultivos para consumo humano, tanto en China como en el resto del mundo (Cantrell y Reeves, 2002; Ehrlich et. al., 1993; Lang, 1996; Yu et. al., 2002). Desde 1961, cerca de un tercio de la ingesta de calorías de cada uno de los 1.300 millones de chinos ha sido proporcionada por el arroz; o, de otra manera, el ciudadano promedio ha consumido cerca de 90 kilos de arroz al año (Lang, 1996; IRR, 2003). En los últimos tiempos, con el aumento del ingreso per cápita, la demanda de arroz ha disminuido, ya que los consumidores de mayores ingresos tienden a consumir más carne y menos arroz. A su vez, estos consumidores tienden a elegir la variedad de arroz japonés de mayor calidad, en vez del arroz índico tradicional (Tian, 2000a). Aproximadamente el 70% de la población en China vive en zonas rurales, lo que convierte al país en la nación con la mayor fuerza de trabajo agraria del mundo, y en el mayor productor de arroz del planeta (Lang, 1996; Klöti y Potrykus, 1999; Yu, 1999).

La mayoría de los estudios indican que la producción arrocera necesita crecer a una tasa anual del 1,7% para poder satisfacer a la demanda (Pingali, Hossain y Gerpacio, 1997; Duncan, 2000; An, 2002). Si bien los rendimientos por hectárea han crecido de 2,08 toneladas métricas en 1961 a 6,27 toneladas en el 2002, la tasa de crecimiento ha disminuido en forma permanente a lo largo de los últimos 20 años - los rendimientos aumentaron en un 1,59% entre 1961 y 1971, pero sólo crecieron 1,31% entre 1971 y 1981, 1,3% entre 1981 y 1991, y 1,12% entre 1991 y 2002 (IRRI,

2003). En la actualidad, el rendimiento por hectárea ha descendido. De 6,35 toneladas métricas por hectárea en 1998, los rendimientos descendieron a 6,15 toneladas en el 2001, recuperándose levemente en el año siguiente (IRRI, 2003). Los incrementos a partir de los híbridos de alto rendimiento han alcanzado su límite, la rentabilidad está declinando, a la vez que los costos agrarios vienen en aumento (Yu, 1999). Una porción significativa de las tierras antes cultivadas ha pasado a ser utilizada para fines industriales, y para los productores agropecuarios han aumentado las oportunidades de obtener mayores ingresos en actividades no vinculadas al campo (Pingali, Hossain, y Gerpacio, 1997; Briggs, 1998; Ding, 2000; Tian, 2000b; Yang y Tian, 2000). El daño ambiental también ha reducido la cantidad de superficie cultivable, en una de las economías del mundo con desarrollo más acelerado (Ehrlich et. al., 1993; Brown, 1995; Ding, 2000). Mundialmente, sólo el 3% del arroz es comercializado internacionalmente, y la mayor parte de la producción es consumida a menos de 15 kilómetros del lugar donde es cultivada (Lang, 1996; Tian, 2000a). Las exportaciones chinas de arroz han fluctuado espectacularmente a lo largo de los últimos diez años, pero se pronostica que crecerán en forma permanente a partir de los 244,7 millones de toneladas exportadas en el año 2000 (Duncan, 2000; IRRI, 2003). A medida que se liberen los controles de precios y China vaya incorporándose plenamente a la Organización Mundial del Comercio, se espera que su integración al mercado internacional de arroz se expanda (Lang, 1996; Tian, 2000b).

Dada la importancia del arroz dentro de la dieta de la población china, y considerando la experiencia relativamente reciente de una hambruna masiva, la investigación dirigida al arroz pareciera representar un esfuerzo por asegurar que las hambrunas y la escasez de alimentos no vuelvan a suceder. El Centro Nacional Chino de Investigación del Arroz, por ejemplo, es la institución que recibe la asignación de recursos más importante de la nación (CNRRI, 2004). Sin embargo, el BGI no fue creado con recursos del gobierno. Yang Huanming, junto con otros científicos formados en distintos lugares del mundo, fundaron el BGI como un instituto de investigación privado sin fines de lucro, reuniendo dinero de varias fuentes privadas locales (Normile, 2002). ¿Cómo llegó a existir una institución de este tipo en la República Popular China?

5. Preparar el escenario para el BGI

La tradición intelectual codificada por Confucio ha sido descrita como anti-innovación o incompatible con la tradición científica euro-americana; pero dado que esta tradición científica fue una innovación cultural específicamente europea, China no es una excepción en relación con esta mirada (Goodman y Simon, 1989). En la China imperial, la innovación técnica era muy poco recompensada social y políticamente (Volti, 1982; Goodman y Simon, 1989). La innovación estaba asociada al mundo material y era menospreciada como algo propio de los artesanos de las provincias, no de los sabios. Sin embargo, este manifiesto desprecio social y discursivo no impidió que China avanzara en el plano tecnológico y administrativo mucho más que las naciones con las que tuvo contacto durante casi toda su historia.

El contacto que China tuvo con Europa y Estados Unidos durante los siglos XVIII y XIX cambió el concepto que tenía de sí misma como la nación preeminente en el mundo, a la cual todas las demás naciones estaban obligadas a rendir pleitesía (Spence, 1999; Yu, 1999). Durante el siglo XIX y principios del XX, una sucesión de derrotas militares, concesiones de soberanía nacional y la acumulación de una cuantiosa deuda hirieron profundamente el orgullo nacional. “Convencidos de que su país estaba a punto de ser destruido, muchos chinos cultos comenzaron a explorar las posibilidades de progreso que están en el centro de la ciencia occidental” (Spence, 1999, 267). Durante este período, las instituciones chinas del plano político, económico, educacional y militar sufrieron una desestabilización cada vez mayor, y el confucionismo -en tanto filosofía general de la vida- pasó a ser desplazado poco a poco por una actitud laudatoria hacia la ciencia, sello distintivo de la modernidad (Kwok, 1965). Comenzó entonces a pensarse en la rápida adopción de la ciencia y la tecnología como un elemento vital para la supervivencia del país frente a los designios colonialistas de Europa, Estados Unidos y Japón, y a otras formas de agresión (Spence, 1999; Yu, 1999).

Durante la caótica primera mitad del siglo XX, “China fue llevada a una situación de desventaja económica, militar, política y técnica por la misma cultura cuya herencia científica [sic] estaba tratando de adoptar”. Ello dejó una profunda suspicacia frente a la influencia extranjera, como también la convicción de que la ciencia y tecnología occidentales eran vitales para su supervivencia como nación (Kwok, 1965: 160). En el Movimiento del 4 de mayo de 1919, ciencia y tecnología surgieron como premisas fundamentales en la lucha por alcanzar la salvación nacional, la modernización, el respeto internacional y la reforma educacional (Kwok, 1965; Volti, 1982; Goodman y Simon, 1989; Spence, 1999).

141

En el marxismo tradicional, la ciencia se consideraba fundamental para la mecanización de la sociedad que liberaría a los obreros del rigor del trabajo asalariado. La gran innovación teórica y estratégica de Mao fue reemplazar al obrero urbano por el campesino rural en la teoría marxista. El Partido Comunista Chino sistemáticamente consideró al desarrollo de la ciencia y la tecnología como un medio para obtener riqueza, poder y status internacional. Decía Mao: “a fin de alcanzar la libertad en el mundo de la naturaleza, el hombre debe valerse de la ciencia natural para comprender, conquistar y cambiar la naturaleza, y así poder liberarse de ella” (citado en Wang, 1993: 96). El éxito de la revolución y la creación de la República Popular en 1949 demostró la perspicacia de la materialista “ciencia de la historia” de Marx, y por ende reforzó la idea de que la ciencia y la tecnología podían salvar al país (Kwok, 1965).

Ya en 1956, Mao había articulado su deseo explícito de ponerse económicamente a la par de Estados Unidos en el término de cincuenta o sesenta años, y dejó en claro que veía a la ciencia y la tecnología como vitales para el desarrollo de China (Sigurdson, 1980). La estrategia que podría definirse como “caminar en dos piernas” llevada a cabo en la década de 1950 para el desarrollo rural fue un intento de valerse por sí mismos mediante una coordinación concertada de política de ciencia y tecnología destinada a promover el desarrollo económico en el campo.

Particularmente durante esos primeros años de la Revolución Popular, “todo lo que diluyera la capacidad de valerse por sí mismos... parecía ir en contra de un objetivo primordial de la revolución: el de alcanzar el poderío y la dignidad mediante los esfuerzos de los propios chinos” (Volti, 1982: 64). Esta ideología se propagó por la cultura y la política china de diferentes maneras, y si bien “el eslogan de la confianza en sí mismos ya no circula más... aún permanecen muchos de sus efectos institucionales” (Hussain, 1989: 229).

Un ejemplo de auto confianza científica de los chinos durante la década de 1960 fue el desarrollo de variedades de arroz de alto rinde. El gobierno chino no colaboró en el desarrollo de dichas variedades, labor coordinada por el International Rice Research Institute (IRRI) a principios de la década de 1960. Pero cuando en 1966 el IRRI lanzó los primeros arroces de alto rinde de la Revolución Verde, China reveló que había utilizado su amplio sistema de investigación agrícola extensivo para crear sus propias variedades de arroz de alto rinde, y que ya contaba con 4 millones de hectáreas cultivadas con dicho arroz (Lang, 1996). Los arroces desarrollados por el IRRI tenían largas temporadas de crecimiento, apropiadas para zonas tropicales (Volti, 1982). Dichas variedades no eran las adecuadas para el clima principalmente templado de China, y no maduraban con la necesaria rapidez como para permitir las múltiples cosechas anuales que hacían falta para satisfacer la demanda china (Volti, 1982). Pero los agrónomos chinos, aislados de la comunidad científica internacional, no tuvieron la posibilidad de planificar una investigación que pudiera haberse adaptado mejor a las necesidades del país, ni tampoco pudo el IRRI beneficiarse con los conocimientos de esos científicos.

142

La historia de la genética en China ilustra aún más las consecuencias de una estrecha asociación entre política, nacionalismo y ciencia. El sistema chino de investigación científica, en el cual las autoridades financiaban la investigación a través de academias centralizadas como el CAS, se creó siguiendo el modelo de instituciones soviéticas (Goodman y Simon, 1989). Un pequeño grupo de dirigentes políticos no científicos crearon programas de investigación en rígidos sistemas verticales que tornaban difícil el intercambio de ideas y la innovación. Este sistema no conducía hacia la elaboración de teorías, ni al desarrollo de tecnologías aplicadas ni a la educación (Goodman y Simon 1989). La dirigencia política a cargo de la investigación científica ordenaba que los genetistas chinos siguieran la doctrina biológica adoptada por el biólogo agrícola ruso T.D. Lysenko, quien negaba la validez de la genética y la herencia clásicas, e insistía en que las características somáticas adquiridas se heredaban. Lysenko mismo había recreado el aura populista que rodeaba al horticultor campesino ruso I.V. Michurin (Schneider, 1989). Las ideas de Lysenko atraían a los políticos chinos que determinaban las políticas científicas porque podían ser explicadas fácilmente al campesinado, se ajustaban al ideal de auto confianza y concordaban con la forma como se había hablado históricamente acerca del poder de las masas para modificar la naturaleza a su voluntad. “Como no fuera para recibir desagradables epítetos, la genética clásica desapareció del podio y de la letra impresa” hasta 1956, cuando los dirigentes políticos se convencieron de que ella podía coexistir con el lisenkoísmo (Schneider, 1989: 53). Pero el Instituto Genético CAS continuó siendo en gran medida lisenkoísta hasta 1966, cuando la

Revolución Cultural suspendió categóricamente toda enseñanza, investigación y publicación científica, lisenkoísta o de cualquier otra índole (Schneider, 1989).

Durante la Revolución Cultural, entre 1966 y 1976, el gobierno presentaba a las instituciones científicas, académicas y educacionales como reaccionarias y peligrosas. Los guardias rojos destruyeron importantes infraestructuras científicas y educativas. Con posterioridad a la Revolución Cultural, el objetivo de ponerse a la par con Occidente llegó a convertirse en “una especie de obsesión”, particularmente tras la muerte de Mao, acaecida en 1976 (Goodman y Simon 1989: 3). Cuando Deng Xiao Ping asumió el mando en 1978, se reanudó la idolatría de la ciencia y la tecnología como corolario de la desilusión por las formas anárquicas de maoísmo, marxismo y leninismo que habían caracterizado a la Revolución Cultural. (Goodman y Simon, 1989; Sigurdson, 1980; Wang, 1993; Yu, 1999). La ciencia legitimó al partido como progresista y moderno, y lo diferenció del radicalismo y el anti intelectualismo extremos de la Revolución Cultural en el culto a la personalidad de Mao. “Desde fines de los años setenta en adelante, se extendió por toda la sociedad china la idea de la importancia de la ciencia y la tecnología, a las que se consideraba el ingrediente ‘mágico’ capaz de transformar automáticamente la economía y la sociedad de la China” (Wang, 1992: 100). Además de establecer las pautas para las reformas económicas del país, la constitución sancionada en 1978 y el Tercer Plenario del Undécimo Comité Central del Partido Comunista Chino priorizó explícitamente tanto a la ciencia como a la agricultura (Spence, 1999). Proclamó que una “vigorosa restauración y aceleración de la producción agraria” eran “fundamentales para un rápido desarrollo de la economía nacional como un todo, y el mejoramiento constante del nivel de vida del pueblo” (Tercer Plenario del Undécimo Comité Central del Partido Comunista Chino 1978, citado en Spence, 1999: 622).

143

El aparato estatal para coordinar la fijación de políticas y determinar las prioridades en cuando a la investigación se fortaleció con la creación de la Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología (SSTC por su sigla en inglés) en 1981, y el Grupo Principal Estatal de Ciencia y Tecnología (STLG) en 1983 (Saich, 1989). El STLG fiscaliza toda la política de científico- tecnológica, incluso al SSTC, y responde directamente al Consejo de Estado, el más alto organismo administrativo del país. Si bien el STLG determinó que el principal problema de la investigación científica de la China era la incapacidad de orientar la investigación hacia tecnologías útiles, los años '80 y '90 han sido testigos de un avance hacia la investigación más básica del tipo ejemplificado por el proyecto de secuenciación de BGI (Saich, 1989; Yu, 1999). Asimismo, se considera la creación de un sector autóctono de alta tecnología como vital para el éxito sostenido de la economía exportadora de China (Doug Guthrie, comunicación personal). El SSTC propugna que se priorice la investigación basada en el interés del gobierno nacional de aumentar la producción, promover el desarrollo económico, aumentar el empleo y elevar el nivel de vida (Yu, 1999). En su “Resumen del informe sobre las pautas para el desarrollo científico y tecnológico de China”, dice el SSTC: “debe tomarse la promoción del desarrollo económico como la tarea primordial de la ciencia y la tecnología” (citado en Yu, 1999: 10). En aras de este fin, el SSTC fortaleció el mencionado sistema de extensión agrícola, que recluta a campesinos comunes para que planten cultivos experimentales (Yu, 1999). Este

sistema de extensión facilitó la introducción del algodón Bt, que representó el 58% de la cosecha china de algodón de 2003, y que ha disminuido la incidencia de envenenamiento por pesticidas al reducir la cantidad de pesticidas que se utilizan en los algodones (Yu, 1999; Huang et. al., 2002b; James, 2003).

En consonancia con la descentralización de la economía que caracterizó al período de reforma, los dirigentes políticos han llegado a reconocer que la ciencia y la tecnología no deberían ser manejadas abiertamente por el gobierno central (Saich, 1989). Si bien el SSTC y el STLG siguen sentando las prioridades, el CAS permite una limitada autonomía dentro de un marco general establecido por las autoridades centrales (Goodman y Simon 1989; Saich, 1989; Wang, 1993). El mercado desempeña un papel mayor en la asignación de recursos y en la toma de decisiones de producción; los institutos de investigación y las universidades ahora compiten para ofrecer sus servicios a la industria (Saich, 1989). Se han afianzado los lazos entre la industria y las universidades; los investigadores han aumentado la movilidad laboral, y se alienta la colaboración internacional (Goodman y Simon 1989). La descentralización e internacionalización de la infraestructura científica china permitió a Yang Huanming fundar el BGI y completar el bosquejo de la secuencia del genoma del arroz.

6. El secuenciamiento del genoma del arroz en el BGI: representación en la revista *Science*

144

El BGI hizo pública su secuencia preliminar del genoma del arroz índico en el ejemplar de la revista *Science* del 5 de Abril del 2002, junto con la secuencia de la variedad japonesa, desarrollada por el TMRI (Goff et. al., 2002; Yu et. al., 2002).² En los diez comentarios que acompañaban esta nota, tecnócratas, periodistas, editores y científicos daban testimonio de la importancia de estos proyectos de secuenciamiento (Bennetzen, 2002; Cantrell y Reeves, 2002; Goff, 2002; Kennedy, 2002; Marhsall, 2002; Leach et. al., 2002; Normile, 2002; Normile y Pennisi, 2002; Ronald y Leung, 2002; Serageldin, 2002). Puestos en conjunto, estos comentarios retratan el secuenciamiento del genoma del arroz como un paso significativo hacia la erradicación del hambre y la pobreza mundial.

En el artículo publicado en el ejemplar de la revista *Science* del 5 de abril del 2002, el periodista científico Dennis Normile enfatizó el coraje, la determinación y el dinamismo del BGI, y de su fundador Yang Huanming (Normile, 2002). En sólo cuarenta meses, el BGI pasó de ser un edificio semivacío y sin financiamiento, a

² TMRI anunció en enero de 2001 que había completado la secuencia de la variedad japonesa del arroz a través del método *shotgun*, aunque esperó hasta que BGI finalizara su secuencia preliminar para publicar los resultados. Syngenta no depositó la secuencia preliminar de TMRI en el GenBank, pero la puso a disposición a través de su propia página web y de un CD. Michael Ashburner, de Cambridge University, David Botstein de Stanford University, y Maynard Olson de University of Washington, hicieron circular una carta argumentando que la negativa de Syngenta a depositar su secuencia en el GenBank (y la decisión de Science de publicar dicha secuencia a pesar de ello) constituía una "muy seria amenaza" a la investigación genómica (Marshall, 2002, 34). Syngenta anunció el cierre del TMRI en el año 2003 (Pray y Naseem, 2003).

convertirse en un instituto de investigación competitivo a nivel internacional con publicaciones en *Science*, dotado de noventa y dos secuenciadores de última generación, cuatro supercomputadoras, y con un staff de quinientas personas que crecía a una tasa de doce incorporaciones por mes (Normile, 2002). Muchos de los integrantes del staff eran muy jóvenes -exceptuando a los científicos *senior*, el promedio de edad de los cien coautores del artículo del BGI publicado en *Science* era de veinticinco años, aproximadamente (Normile, 2002). Normile describe cómo Yang se benefició con la descentralización de la infraestructura científica china y por las oportunidades de intercambio educativo internacional que las políticas de puertas abiertas de Deng Xiao Ping hicieron posibles. Yang obtuvo su PhD en genética en la Universidad de Copenhague, y luego trabajó en laboratorios de Francia y los Estados Unidos. En 1994 volvió a su tierra natal, convencido de que las economías de escala que impulsaban el crecimiento de las exportaciones chinas podían ser adaptadas al secuenciamiento (Normile, 2000). En 1998, Yang llevó un grupo internacional de científicos a un edificio vacío en las afueras de Pekín, y les explicó que pronto ese lugar se convertiría en una institución de talla mundial dedicada al secuenciamiento de una porción del genoma humano. En ese entonces no contaba con el dinero para financiar su ambicioso proyecto, y decidió no solicitar el financiamiento del Institute of Genomics del CAS por considerarlo muy tradicional y sujeto a demasiadas reglas (Normile, 2002).

En vez de esto, en 1999, él y tres científicos chinos capacitados en la University of Washington se valieron de la nueva legislación, que permitía el establecimiento de institutos de investigación científica privados sin fines de lucro (Normile, 2002). Con dinero proveniente del Instituto de Genómica del CAS, del municipio de la ciudad natal de Yang en la provincia de Zhejiang, y con préstamos de familiares, amigos y empleados, fundaron el BGI en un espacio cedido por el Aeropuerto de Pekín (Normile, 2002). En la 5th International Strategy Meeting on Human Genome Sequencing, realizada en septiembre de 1999, Yang tuvo que mentir diciendo que contaba con el dinero suficiente para secuenciar el 1% del genoma humano (Normile, 2002). Pero en determinado momento, el CAS decidió financiar tres centros de secuenciamiento en China, y el BGI obtuvo más de la mitad de esa asignación de dinero. Cuando estos tres centros de secuenciamiento terminaron a tiempo sus trabajos para el Proyecto Genoma Humano, los medios de comunicación de China celebraron el hecho de que la nación fuera el único país en vías de desarrollo en participar en el proyecto (Normile, 2002). Sorprendido por el éxito del BGI con el genoma humano, el gobierno municipal de Hangzhou le otorgó un edificio sin expensas y dinero para que instale un segundo laboratorio en esa ciudad, que fue llamado Instituto de Genómica de Hangzhou. Tanto en el Hangzhou como en la sede original del BGI, se trabajó sobre el genoma del arroz. El temprano éxito del BGI “demuestra la capacidad de Yang para hacer realidad su visión, consiguiendo fuentes de apoyo cada vez más diversificadas en un país que había cambiado de mentalidad” (Normile, 2002: 36).

El IRGSP ya se encontraba realizando el análisis *stepwise* del genoma. Este procedimiento es la estrategia más lenta, tradicional y costosa para estudiar los genomas, pero da como resultado las secuencias más precisas y meticulosas

(Bennetzen, 2002). El financiamiento público era tan mínimo que la finalización del proyecto del IRGSP se estimaba para el año 2008. Mientras tanto, la corporación Monsanto financiaba el secuenciamiento del genoma de la variedad japonesa de arroz, que se completó en el año 2000 (Normile y Pennisi, 2002). El método utilizado por Monsanto era más veloz y menos costoso que el enfoque tradicional de análisis *stepwise* utilizado por el IRGSP, y si bien sus resultados preliminares no fueron lo suficientemente meticulosos como para permitir el montaje de la secuencia con gran precisión, facilitó mucho el trabajo del IRGSP (Normile y Pennisi 2002). La secuencia preliminar de Monsanto no fue ingresada en el GenBank, depósito público de las secuencias genómicas. Sin embargo, debido a que la información estuvo al alcance del IRGSP y de determinados investigadores, gran parte de esta secuencia acabó siendo depositada en el GenBank. En abril del año 2000, preocupado por el hecho de que el IRGSP y Monsanto se estaban concentrando únicamente en la variedad japonesa, Yang convenció al CAS de que financiara al BGI para el secuenciamiento del arroz índico, la variedad de arroz más difundida en China. Yang comentó: "había un sentimiento de que China debía secuenciar su propio arroz", y sostuvo que el éxito del BGI en lo relativo al genoma humano daba cuenta de la capacidad del instituto para triunfar en el secuenciamiento del arroz (Normile y Pennisi, 2002: 35).

El Centro Nacional para la Investigación Genética de Shanghai, un instituto del CAS, ya se encontraba desarrollando mapas físicos y una biblioteca de clones para el arroz índico (Normile y Pennisi, 2002). El BGI, en cambio, utilizó el secuenciamiento de tipo *shotgun*, que es mucho más veloz y más económico que el método utilizado por el IRGSP debido a que no requiere de la construcción de mapas y bibliotecas de clones. En cambio, los investigadores desarmaron el genoma índico en partes, y los pequeños clones resultantes fueron secuenciados por computadora. Debido a las restricciones nacionales de exportación de los Estados Unidos por temas de seguridad, el BGI no pudo comprar en ese país las computadoras que necesitaba. En vez de esto, el BGI trabajó en cooperación con Dawning, una compañía china fabricante de procesadores, para desarrollar sus propias supercomputadoras (Normile, 2002). El BGI se benefició de los precios de los insumos y la mano de obra, y de las economías de escala de China, logrando producir equipamiento para sus laboratorios en grandes cantidades y a bajo costo (Normile, 2002).

Los investigadores del BGI decoraron sus laboratorios con azadones herrumbrados "para no olvidarnos de que somos trabajadores de la información", y adornaron las paredes con afiches con leyendas como "¡El descubrimiento no puede esperar!" y "¡Rápido! ¡Rápido! ¡Rápido!", reminiscencia de los eslóganes de propaganda oficial que supieron estar pintados por toda China (Normile, 2002: 37). El BGI se pasó un año testeando su programa de secuenciamiento contra la información disponible en el GenBank, lo que demuestra la importancia de hacer pública esta información. Una vez que todos los algoritmos estuvieron probados, los investigadores pasaron setenta y cuatro días durmiendo en colchones y sacos de dormir dentro del laboratorio, cumpliendo jornadas de trabajo de doce horas hasta que el 8 de octubre del 2001, el secuenciamiento fue completado (Normile, 2002). Las secuencias preliminares publicadas por el BGI y el TMRI no restan importancia

al trabajo que, con mayor precisión, lleva adelante el IRGSP, dado que aún hay decenas de pares de bases cuya localización sigue siendo desconocida (Normile y Pennisi, 2002).

A los científicos que participaron en el proyecto del BGI, TMRI e IRGSP les preocupaba que el estado de excitación en torno a estas secuencias preliminares pudiera hacer que el financiamiento se agotase antes de que el IRGSP hubiera completado su exhaustiva y minuciosa secuencia (Cantrell y Reeves, 2002; Normile y Pennisi, 2002; Leach et. al., 2002). Los comentarios de la revista *Science*, sin embargo, contribuyeron a alimentar esta excitación, al presentar al paradigma genético como la forma en que se podría dar alimento a toda la humanidad. Al describir el lanzamiento de estas secuencias preliminares como “el comienzo de una nueva era para la biología”, Normile y Pennisi afirmaron que las secuencias preliminares del genoma del arroz “anuncian una transformación similar en las ciencias agrícolas” (Normile y Pennisi 2002, 32). Goff dijo a sus lectores que el trabajo del TMRI sería “decisivo para el mejoramiento del cultivo de cereales” (Goff, 2002: 45). Ismail Serageldin, ex-presidente del CGIAR, utilizó el vocabulario clásico de *seeing in genes* para referirse a “cómo la ciencia puede enfrentar cara a cara el desafío del hambre y la pobreza del mundo” (Serageldin, 2002: 55). “Hemos decodificado el patrón genético de la vida, estamos aprendiendo a controlar el uso y la expresión de los genes, estamos movilizandobacterias para que realicen nuestro trabajo, y estamos manipulando los ladrillos que componen los cimientos de la vida” (Serageldin, 2002: 54). También declaró: “la ciencia impregna la perspectiva cultural de nuestras sociedades y la cosmovisión de más personas como nunca antes”, y afirmó que “la ciencia puede ayudar a combatir el hambre, curar enfermedades, (y) proteger el ambiente. Con el objeto de justificar la decisión de *Science* de publicar los resultados del TMRI aun cuando éstos no habían sido ingresados directamente en el GenBank, Donald Kennedy, editor de la revista, mencionó a los “beneficiarios ocultos” de estos proyectos de secuenciamiento, a saber, “los pequeños propietarios rurales del tercer mundo, de cuya productividad es posible que dependan la salud y la alimentación de millones de personas” (Kennedy, 2002: 13).

147

Este tipo de comentarios sobrepasaron su límite al representar a las secuencias preliminares del arroz como el punto de partida de una “revolución del ‘Gen Verde’”, la cual, sostenían, “tendrá impacto mundial sobre la salud humana” (Leach et. al., 2002: 45; Cantrell y Reeves, 2002: 53). Las representaciones de las secuencias preliminares como básicamente el trabajo de armado de un rompecabezas suenan menos glamorosas pero resultan más verosímiles. Estos proyectos “[abren] una puerta hacia una biotecnología comparativa de plantas”, y su mayor valor es el aporte que brinda, en la forma de investigación básica, a bioquímicos, farmacéuticos, fisiólogos; a expertos en biología de la evolución, estructural y del desarrollo; y a expertos en genética cuantitativa, comparativa y de poblaciones (Bennetzen 2002: 60). Por ejemplo, el 80% de los genes del repollo *Arabidopsis thaliana*, la única planta completamente secuenciada desde el año 2002, tiene componentes homólogos en el arroz, mientras que sólo el 50% de los genes del arroz tiene homólogos en el *Arabidopsis*. Esto sugiere que los genes del arroz son un súper conjunto de los genes del *Arabidopsis thaliana* (Ronald y Leung, 2002). El arroz es “útil como punto de

partida para el secuenciamiento de los genomas de otros cereales relacionados”, a saber, sorgo, maíz, cebada, avena y trigo (Goff et. al., 2002: 92). El secuenciamiento de los genomas de estos otros cultivos sería costoso y demandaría mucho tiempo debido a que son mucho más grandes que el arroz. Sin embargo, el 85% de las proteínas examinadas en estos cereales están relacionadas con proteínas del arroz (Bennetzen, 2002; Leach et. al., 2002). Chris Somerville, biólogo molecular de la Universidad de Standford, ofreció un punto de vista mucho más realista: “nadie gana dinero con las semillas de arroz”, comentó (citado en Normile y Pennisi 2002: 33). Con buen juicio, Normile y Pennisi agregaron: “las compañías se preocupan por el arroz porque les interesan los beneficios potenciales a obtener de los voluminosos mercados del maíz, la cebada, el sorgo y el trigo” (citado en Normile y Pennisi, 2002: 33).

Pamela Roland y Hei Leung, científicas especialistas en cultivos de la Universidad de California y del IRRI respectivamente, caracterizaron a los proyectos de secuenciamiento como investigación básica, y a la vez como una oportunidad de la genética para alimentar al mundo (Roland y Leung, 2002). En opinión de las dos científicas, la publicación de las secuencias preliminares “brinda una abundante fuente de recursos para la comprensión de los procesos biológicos de las plantas, y promete impactar positivamente sobre la producción cerealera” (Roland y Leung, 2002: 58). Roland y Leung reconocen que los enfoques centrados en la genética sólo sirven en combinación con otras tecnologías. “Para aplicar esta información a la producción de alimentos se necesita de enfoques integrados y creativos, utilizando germoplasma diverso, reproducción tradicional por *breeding*, tecnologías modernas y el futuro conocimiento de genética comparada” (Roland y Leung, 2002: 59). Si bien las autoras afirmaron que “el nuevo conocimiento que se deriva de la investigación de los genomas contribuirá decisivamente” a la provisión de alimentos para combatir el hambre, Roland y Leung fueron los únicos comentaristas que señalaron que “para poder asegurar alimento a todo el mundo serán necesarias también una multitud de soluciones económicas y sociales” (Roland y Leung, 2002: 58). La hambruna sufrida por China durante el “Gran Salto hacia adelante”, por ejemplo, no fue causada por el bajo rendimiento de los cultivos, sino que fue el resultado de una multitud de factores económicos y sociales:

Una teoría simple y efectista, capaz de explicarlo todo, consigue buena prensa... Por otro lado, si el mensaje que uno emite es que las cosas son complicadas, inciertas y enrevesadas, que no hay una sola ley o fuerza capaz de explicar el pasado y predecir el futuro de la humanidad, las posibilidades de ser escuchado son mucho menores. Las reivindicaciones mesuradas acerca de la complejidad de la vida y de nuestra ignorancia sobre sus determinantes, no son un buen negocio (Lewontin, 1991: vii).

Los proyectos de secuenciamiento del genoma del arroz son significativos como investigación básica, pero a la vez son presentados como la panacea de la agricultura. Los comentarios que aparecieron en la revista *Science* tienden a

representar el complejo problema de la seguridad alimentaria como una simple cuestión de incremento de los rendimientos agrícolas. Estos comentarios promueven posteriores intervenciones genéticas a través del enrolamiento de dinero, organismos, prácticas agropecuarias, políticas comerciales y el imaginario de los individuos en la práctica de *seeing in genes*.

7. Intervenciones finales

El proceso de secuenciamiento del genoma del arroz desarrollado por el BGI confirma lo dicho por Bruno Latour: “ningún proyecto tecnológico es tecnológico ante todo” (Latour, 1996: 32). La elección del cultivo más importante de China como objeto de la mirada genética surgió como consecuencia de las gravísimas hambrunas sufridas por esa nación en tiempos recientes. En contraste, el Proyecto Genoma Humano en los Estados Unidos, que tenía fines médicos, fue mucho más celebrado que cualquier plan para secuenciar un cultivo. El proyecto de secuenciamiento desarrollado por el BGI dependió de la descentralización de la estructura científica de China, que permitió contar con fuentes de financiamiento diversificadas y un alto grado de cooperación internacional. La imagen de la ciencia como medio para la salvación nacional y el valor dado a la autonomía confluyeron con la práctica global de *seeing in genes*, para producir como resultado las secuencias preliminares del genoma del arroz publicadas en *Science*.

La acumulación y el uso de la información genética pretenden resolver el problema del rendimiento de los campos, el cual puede ser considerado espurio en comparación con el problema de la distribución de los alimentos. La mirada genética puede distraer la atención de las instituciones, impidiéndoles ver que sería posible realizar cambios menos glamorosos y de menor contenido tecnológico en las prácticas agrícolas y en las políticas comerciales, que permitirían distribuir con mayor eficacia alimentos a quienes los necesitan. Por ejemplo, el System of Rice Intensification (SRI) desarrollado por la Association Tefy Saina de Madagascar, y promocionado en numerosos países por el Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, permite incrementar la productividad del arroz y disminuye la utilización de insumos químicos, semillas, agua y trabajo a través de una administración organizada de plantas, suelo, agua y nutrientes (Stoop et. al., 2002). Pero el paradigma genético comprende un “paquete” de prácticas, estructuras, normas y significados. De acuerdo con Howard Becker, “es el paquete el que ejerce la hegemonía, el que contiene la fuerza inercial” (Becker, 1995: 304). A medida que se secuencian más genomas, y comienzan a utilizarse más variedades de cultivos GM, todo lo que se aleja del paquete es considerado no-científico, y quienes se desvían del paquete ponen en peligro su estatus, su legitimidad y su viabilidad económica.

149

Seeing in genes genera impactos discursivos, sociales y materiales en la forma como se realiza la investigación en el área de las ciencias de la vida. Tiene incidencia sobre el uso de herbicidas y pesticidas, sobre los patrones de utilización de las tierras, sobre los beneficios de la actividad agrícola, sobre las políticas comerciales,

sobre las formas de sustento de los individuos y sobre las desigualdades regionales (China Daily, 2002; Gills, 2002). Las intervenciones genéticas exoneran a los sospechosos de haber cometido crímenes, canalizan dinero hacia determinados investigadores y no hacia otros, mejoran la salud de los productores agrícolas, cambian el ambiente en los lugares en los que se utilizan cultivos GM y desencadenan disputas comerciales internacionales. Puede que la perspectiva *seeing in genes* dificulte la percepción de estas interacciones de orden superior entre el material genético, el ambiente y los sistemas sociales; pero la sociología puede ayudar a ver a través de esta niebla. Mi intención no es detener los proyectos de secuenciamiento ni impedir el uso del cultivo de OGM: una vez que la pasta dental sale del envase no puede volver a su interior. No obstante, someter la mirada genética a la mirada sociológica puede ayudar a minimizar los riesgos y a maximizar los beneficios potenciales de *seeing in genes*.

Bibliografía

150

AN, Xi-ji (2002): "Projecting China's Grain Demand and Supply", *China's Agriculture at the Crossroads*, Yongzheng YANG y Weiming TIAN (ed.), New York, St. Martin's Press, pp. 180-193.

ASHTON, Basil, Kenneth HILL, Alan PIAZZA, Robin ZEITZ (1984): "Famine in China", *Population and Development Review*, 10; 4, diciembre, pp. 613-645.

BECKER, Howard (1995): "The Power of Inertia", *Qualitative Sociology*, 18 (3), pp. 302-309.

BENNETZEN, Jeffrey (2002): "Opening the Door to Comparative Plant Biology", *Science*, 296; 5565 (April 5), pp. 60-63.

BOURDIEU, Pierre [1998 (1975)]: "The Specificity of the Scientific Field and the Social Conditions of the Progress of Reason", *The Seeing in genes Studies Reader*, Mario BIAGIOLI (ed.), New York, Routledge, pp. 31-50.

BRIGGS, Steven P. (1998): "Plant genomics: More than food for thought", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (March), pp. 1986-1988.

BROWN, Lester (1995): *Who Will Feed China? Wake-up Call for a Small Planet*, New York, W. W. Norton.

BYERLEE, Derek y FISCHER, K. (2001): "Accessing Modern Science: Policy and Institutional Options for Agricultural Biotechnology in Developing Countries", *IP Strategy Today*, No. 1-2001.

CALLON, Michel [1999 (1986)]: "Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and Fishermen of St. Brieuc Bay", *The Science Studies Reader*, Mario BIAGIOLI (ed.), New York, Routledge, pp. 67-83.

CANTRELL, Ronald P. y REEVES, Timothy G. (2002): "The Cereal of the World's Poor Takes Center Stage", *Science* 296; 5565 (April 5), p. 53.

CHANG, Te-Tzu (1976): "The Rice Cultures", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* 275; 936 (27 July), pp. 143-155.

CHINA DAILY (2002): "GM cotton damages environment," (June 4). Disponible en: http://news.xinhuanet.com/english/2002-06/03/content_422594.htm

CHINA NATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (2004): "Introduction: About CNRRI." Disponible en: <http://www.chinariceinfo.com/errice/index.htm>.

CLARKE, Adele E.; SHIM, J.; MAMO, L.; FOSKET, J.; y FISHMAN, J. (2003): "Biomedicalization: Technoscientific Transformations of Health, Illness, and U.S. Biomedicine", *American Sociological Review* 68; 2 (April), pp. 161-194.

CLARKE, Tom (2002): "China leads GM revolution: government funding puts Chinese plant biotechnology second only to US", *Nature Science Update, Checkbiotech.org* 2428, 25 de enero.

DUNCAN, Ron (2000): "A Changing Global Food Market: Implications for China", *China's Agriculture at the Crossroads*, Yongzheng YANG y Weiming TIAN (ed.), New York: St. Martin's Press, pp. 34-45.

EHRlich, Paul R.; EHRlich, A.; DALY, G. (1993): "Food Security, Population, and Environment", *Population and Development Review* 19; 1 (March): 1-32.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2004): "The State of Food and Agriculture 2003-04", Roma.

GILLS, Justin (2002): "Biotech industry adopts precaution: Altered crops banned near major food crops", *Washington Post* October 22, 2002: p. E01.

GOFF, Stephen A., Darrell RICKE, Tien-Hung LAN, Gernot PRESTING, Ronglin WANG, Molly DUNN, Jane GLAZEBROOK, Allen SESSIONS, Paul OELLER, Hemant VARMA, David HADLEY, Don HUTCHISON, Chris MARTIN, Fumiaki KATAGIRI, B. Markus LANGE, Todd MOUGHAMER, Yu XIA, Paul BUDWORTH, Jingping ZHONG, Trini MIGUEL, Uta PASZKOWSKI, Shiping ZHANG, Michelle COLBERT, Wei-lin SUN, Lili CHEN, Bret COOPER, Sylvia PARK, Todd Charles

WOOD, Long MAO, Peter QUAIL, Rod WING, Ralph DEAN, Yeisoo YU, Andrey ZHARKIKH, Richard SHEN, Sudhir SAHASRABUDHE, Alun THOMAS, Rob CANNINGS, Alexander GUTIN, Dmitry PRUSS, Julia REID, Sean TAVTIGIAN, Jeff MITCHELL, Glenn ELDREDGE, Terri SCHOLL, Rose Mary MILLER, Satish BHATNAGAR, Nils ADEY, Todd RUBANO, Nadeem TUSNEEM, Rosann ROBINSON, Jane FELDHAUS, Teresita MACALMA, Arnold OLIPHANT, and Steven BRIGGS (2002): "A Draft Sequence of the Rice Genome (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*)."
Science 296; 5565 (April 5): Pp. 92-100.

GOODMAN, Merle y SIMON, D. (1989): "Introduction: The Onset of China's New Technological Revolution", *Science and Technology in Post-Mao China*, Denis Fred Simon y Merle Goodman (ed.), Cambridge MA / London: The Council on East Asian Studies/Harvard University, pp. 1-20.

GRILICHES, Zvi (1957): "Hybrid Corn: An Explanation in the Economics of Technological Change", *Econometrica* 25; 4 (October), pp. 501-522.

GUTHRIE, Doug (2003): comunicación personal con David Schleifer, New York University Department of Sociology.

HACKING, Ian (1983): *Representing and intervening*, New York, Cambridge University Press.

152 HUANG, Jikun; ROZELLE, S.; PRAY, C.; WANG, Q. (2002a): "Plant Biotechnology in China", *Science* 295 (25 January), pp. 674-677.

_____; HU, Ruifa; FAN, Cuihui; PRAY C.; y ROZELLE, S. (2002b): "Bt cotton benefits, costs, and impacts in China", *AgBioForum: The Journal of Agrobiotechnology Management and Economics*, 5 (4), pp. 153-166.

HUMAN GENOME PROJECT (2004): "Gene Therapy" Disponible en: http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/medicine/genetherapy.shtml

HUSSAIN, Athar (1989): "Science and Technology in the Chinese Countryside", *Science and Technology in Post-Mao China*, Denis Fred Simon y Merle Goodman (ed.), Cambridge MA and London: The Council on East Asian Studies/Harvard University, pp. 223-249.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI) (1997): "Bt Rice: Research and Policy Issues", *IRRI Information Series* 5, Julio de 1996, revisado en Junio de 1997.

_____. (2003): "World Rice Statistics".
Disponible en: <http://www.irri.org/science/ricestat/>

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS (ISAAA) (2004): "China's Scientists Bat For Commercial Planting of

GM Rice", *CropBiotech Update*, June 18, 2004. Disponible en: <http://www.isaaa.org/kc/>

JAMES, Clive (2003): "Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003." *ISAAA Briefs No. 30. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications*, Ithaca, New York.

JUDSON, Horace Freeland (1992): "A History of the Science and Technology Behind Gene Mapping and Sequencing", *The Code of Codes*, Daniel J. Kevles y Leroy Hood (ed.), Cambridge MA, Harvard University Press, pp. 37-82.

KAY, Lily E. (2000): *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*, Stanford, CA, Stanford University Press.

KELLER, Evelyn Fox (2000): *The Century of the Gene*, Cambridge MA, Harvard University Press.

KENNEDY, Donald (2002): "The Importance of Rice", *Science* 296; 5565 (April 5), p. 13.

KLOPPENBURG, Jack Ralph Jr. (1988): *First the Seed: The political economy of plant biotechnology*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

KLÖTI, Andreas y POTRYKUS, I. (1999): "Rice improvement by genetic transformation" *Molecular Biology of Rice*, Ko Shimamoto (ed.), Tokyo: Springer-Verlag, pp. 283-301.

153

KUHN, Thomas [1996 (1962)]: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press.

KWOK, D. W. Y. (1965): *Scientism in Chinese Thought: 1900-1950*, New Haven, Yale University Press.

LANG, James (1996): *Feeding a Hungry Planet: Rice, Research, and Development in Asia and Latin America*, Chapel Hill, NC, University of North Carolina Press.

LATOUR, Bruno (1996): *Aramis, or the Love of Technology*, Cambridge MA, Harvard University Press.

_____ (1993): *We have never been modern*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

LEACH, Jan; MCCOUCH, Susan; SLEZAK, Tom; SASAKI, Takuji; y WESSLER, Sue (2002): "Why Finishing the Rice Genome Matters", *Science* 296; 5565 (April 5): p. 45.

LEWONTIN, Richard C. (1991): *Biology as Ideology*, New York: Harper Perennial.

- LI, Lillian M. (1982): "Introduction: Food, Famine, and the Chinese State", *Journal of Asian Studies* 41; 4 (August), pp. 687-707.
- LIN, Justin Yifu (1992): "Hybrid Rice Innovation in China: A Study of Market-Demand Induced Technological Innovation in a Centrally-Planned Economy", *The Review of Economics and Statistics* 74; 1 (February), pp. 14-20.
- MARSHALL, Eliot (2002): "A Deal for the Rice Genome", *Science* 296; 5565 (April 5), 34.
- MOLOTCH, Harvey (2003): *Where Stuff Comes From*, New York and London, Routledge.
- MOORE V. REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA, Supreme Court of California (1990): 51 Cal. 3d 120; 793 P.2d 479; 1990 Cal.
- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (NIH) (2003): "International Consortium Completes Human Genome Project." National Human Genome Research Institute New Release. April 14, 2003. Disponible en: <http://www.genome.gov/11006929>
- NELKIN, Dorothy y LINDEE, Susan (1995): *The DNA Mystique: The Gene as a Cultural Icon*, New York: W. H. Freeman and Company.
- 154 NORMILE, Dennis (2002): "Beijing Genomics Institute: From Standing Start to Sequencing Superpower", *Science* 296; 5565 (April 5), pp. 36-39.
- _____ y PENNISI, Elizabeth (2002): "Rice: Boiled Down to Bare Essentials", *Science* 296; 5565 (April 5), pp. 32-36.
- PENG, Xizhe (1987): "Demographic Consequences of the Great Leap Forward in China's Provinces", *Population and Development Review* 13; 4 (December), pp. 639-670.
- PINGALI, P. L.; HOSSAIN, M. y GERPACIO, R. (1997): *Asian Rice Bowls: The Returning Crisis?* Wallingford, UK: CAB International / International Rice Research Institute.
- PRAY, Carl E.; COURTMANCHE, Anna; GOVINDASAMY, Ramu (2002): "The Importance Of Intellectual Property Rights In The International Spread Of Private Sector Agricultural Biotechnology," Report to the World Intellectual Property Organization, September 2001, *6th International Conference of the International Consortium on Agricultural Biotechnology Research*, Ravello, Italia, julio.
- _____; NASEEM, Anwar (2003): "The Economics of Agricultural Biotechnology Research", ESA Working Paper No. 03-07, Agriculture and Economic Development Analysis Division of the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Roma.

RONALD, Pamela; HEI, Leung (2002): "The Most Precious Things Are Not Jade and Pearls", *Science* 296; 5565 (April 5), pp. 58-59.

SAICH, Tony (1989): "Reform of China's Science and Technology Organizational System", *Science and Technology in Post-Mao China*, Denis Fred Simon y Merle Goodman (ed.), Cambridge MA and London: The Council on East Asian Studies/Harvard University, pp. 69-88.

SCHMOOKLER, Jacob (1966): *Invention and Economic Growth*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

SCHNEIDER, Laurence A. (1989): "Learning from Russia: Lysenkoism and the Fate of Genetics in China, 1950-1986", *Science and Technology in Post-Mao China*, Denis Fred Simon y Merle Goodman (ed.), Cambridge MA and London, The Council on East Asian Studies/Harvard University, pp. 45-65.

SERAGELDIN, Ismail (2002): "World Poverty and Hunger - the Challenge for Science", *Science* 296; 5565 (April 5), pp. 54-58.

SIGURDSON, Jon (1980): *Technology and Science in the People's Republic of China: An Introduction*, Oxford, UK, Pergamon Press.

SILVERMAN, Paul. (2004): "Research Vision: Rethinking Genetic Determinism", *The Scientist* 18; 10 (May 24), p. 32.

155

SPENCE, Jonathan D. (1999): *The Search for Modern China*, New York: W. W. Norton and Company.

STOOP, Willem A.; UPHOFF, Norman; y KASSAM, Amir (2002): "A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers", *Agricultural Systems* 71, pp. 249-274.

TIAN, Weiming (2000a): "The Changing pattern of Rice Production in China", *China's Agriculture at the Crossroads*, Yongzheng Yang y Weiming Tian (ed.), New York: St. Martin's Press, pp. 64-77.

_____ (2000b): "Technical Efficiency of China's Grain Production", *China's Agriculture at the Crossroads*, Yongzheng Yang y Weiming Tian (ed.), New York: St. Martin's Press, pp. 148-165.

VOLTI, Rudi (1982): *Technology, Politics, and Society in China*, Boulder, CO, Westview Press.

WANG, Yeu-Farn (1993): *China's Science and Technology Policy: 1949-1989*, Aldershot, UK, Avebury.

YANG, Yongzheng y WEIMING Tian (2000): "Agricultural Reform: An Unfinished Long March", *China's Agriculture at the Crossroads*, Yongzheng Yang y Weiming Tian (ed.), New York: St. Martin's Press, pp. 1-18.

YU, Jun; Songnian HU, Jun WANG, Gane Ka-Shu WONG, Songgang LI, Bin LIU, Yajun DENG, Li DAI, Yan ZHOU, Xiuqing ZHANG, Mengliang CAO, Jing LIU, Jiandong SUN, Jiabin TANG, Yanjiong CHEN, Xiaobing HUANG, Wei LIN, Chen YE, Wei TONG, Lijuan CONG, Jianing GENG, Yujun HAN, Lin LI, Wei LI, Guangqiang HU, Xiangang HUANG, Wenjie LI, Jian LI, Zhanwei LIU, Long LI, Jianping LIU, Qihui QI, Jinsong LIU, Li LI, Tao LI, Xuegang WANG, Hong LU, Tingting WU, Miao ZHU, Peixiang NI, Hua HAN, Wei DONG, Xiaoyu REN , Xiaoli FENG, Peng CUI, Xianran LI, Hao WANG, Xin XU, Wenxue ZHAI, Zhao XU, Jinsong ZHANG, Sijie HE, Jianguo ZHANG, Jichen XU, Kunlin ZHANG, Xianwu ZHENG, Jianhai DONG, Wanyong ZENG, Lin TAO, Jia YE, Jun TAN, Xide REN, Xuwei CHEN, Jun HE, Daofeng LIU, Wei TIAN, Chaoguang TIAN, Hongai XIA, Qiyu BAO, Gang LI, Hui GAO, Ting CAO, Juan WANG, Wenming ZHAO, Ping LI, Wei CHEN, Xudong WANG, Yong ZHANG, Jianfei HU, Jing WANG, Song LIU, Jian YANG, Guangyu ZHANG, Yuqing XIONG, Zhijie LI, Long MAO, Chengshu ZHOU, Zhen ZHU, Runsheng CHEN, Bailin HAO, Weimou ZHENG, Shouyi CHEN, Wei GUO, Guojie LI, Siqi LIU, Ming TAO, Jian WANG, Lihuang ZHU, Longping YUAN, and Huanming YANG (2002): "A Draft Sequence of the Rice Genome (*Oryza sativa* L. ssp. indica)." *Science* 296; 5565 (April 5), pp. 79-92.

156 YU Q. Y. (1999): *The Implementation of China's Science and Technology Policy*, Westport, CT, Quorum Books.

ZHU Rongji (2003): "Report on the Work of the Government", *First Session of the 10th National People's Congress*, March 5, Beijing, China.