

II. De la biotecnología a la producción

1. Biotecnología: Aplicaciones e impactos (un mundo desafiante)

1.1 Introducción: De la biología tradicional a la moderna biotecnología

La aplicación de la biología en la transformación de naturaleza es una tecnología muy antigua. La fermentación de bebidas, la fabricación de quesos, e incluso la panificación son tan viejas como la humanidad y tienen como epicentro el uso de procesos biológicos (las levaduras) como herramientas de transformación de materias primas en productos finales. Esos procesos fueron desarrollados a partir de mecanismos de prueba y error y “afinados” desde el siglo XIX con diversas técnicas (en consonancia con el desarrollo de la química). Algo similar ocurrió con el desarrollo de las vacunas y de otros medicamentos de origen biológico: identificado el agente, su atenuación permitía el cultivo reproductivo controlado y con ello la generación de vacunas. La quimera de modificar las características (de conformación y comportamiento) de los denominados “seres vivos” para fines específicos ha sido una constante en la búsqueda científica por miles de años (Solbrig, 2004; Rifkin, 1998; Bourlag, 1997). En el plano agrícola, el uso de las leyes de Mendel permitió contar con una guía -basada en el entrecruzamiento y la ley de los grandes números- para mejorar los procesos de selección, siempre entre intra-especies. Ello dio lugar a la mejora sustantiva, principalmente en el fitomejoramiento de las semillas y, en menor medida, en los registros de genética bovina. Otro paso en dicha dirección fue el entrecruzamiento “manual” entre especies compatibles, dando lugar a los fenómenos conocidos como hibridación. Su resultado fue la clave del uso masivo de las semillas híbridas (junto con la mecanización y los agroquímicos) como eje central de la denominada revolución verde de los años cincuenta y sesenta. Aún así, los conocimientos (y el control técnico más preciso) de las razones de tales comportamientos biológicos, eran poco conocidos científicamente. Las técnicas aplicadas respetaban el cruzamiento “natural” entre especies.

La descripción hipotética del funcionamiento del ADN (en 1953) permitió comenzar a ahondar los conocimientos sobre el funcionamiento interno de los procesos genéticos. Las

investigaciones avanzaron en la identificación de cada gen, sus funciones asociadas, las formas de relación con las proteínas y otros mecanismos de la compleja biología de las células. De allí surgió rápidamente el interés por el uso aplicado de los avances científicos: la manipulación de los códigos del ADN de cada ser vivo, la posibilidad de copiar individuos (clonar), la identificación de qué gen corresponde a qué rasgo (estructural y/o funcional), guiaban investigaciones. Muy pronto -ya a mediados de los sesenta- estos avances científicos abandonaron el plano teórico y sirvieron de base para el desarrollo de nuevos productos y procesos⁶. Como otras experiencias tecnológicas sustantivas -como el uso de la fusión nuclear para la generación de energía- el avance de la ciencia comenzó a correr *pari passu* con (y se retroalimenta) los desarrollos tecnológicos y éstos con aplicaciones comerciales concretas. En este caso, ello significó que, los avances iban a demandar una relación muy estrecha entre lo científico, lo tecnológico y lo comercial. Inevitablemente abrió la necesidad de reformular el modelo científico (articulado previamente bajo el paradigma de bien público financiado con recursos estatales) y tecnológico (previamente exclusivo de tecnólogos privados y orientada por el lucro). Como consecuencia a inicios de la década del ochenta, se lanzaron al mercado los primeros medicamentos obtenidos a través de recombinantes (la insulina recombinada y la eritropoyetina fueron los productos más destacados)⁷. Bien entrados los noventa, aparecen más productos en el área farmacéutica a la vez que se inicia la aplicación crecientemente masiva a los cultivos (modificados genéticamente), a los alimentos y a la provisión de materias primas industriales (denominado genéricamente biomasa para usos industriales).

Más allá del posterior desarrollo -sobre el cual volveremos sobre el final de ese capítulo-, en lo que resta de la sección nos centraremos en las especificidades de esta tecnología, dado que por sus características abre espacios de intercambios (y bajo ciertas condiciones genera nuevos mercados) no sólo en el ámbito productivo sino también en el científico. El pasaje de una idea teórica a un producto final, implica una larga serie de pasos técnicos, en cada uno de los cuales es dable identificar subproductos (genes, servicios de secuenciamiento, test, servicios de bioinformática, cultivos, plásmidos, equipamiento específico -como los secuenciadores y/o los cañones génicos-) pasible de ser desarrollados en forma integrada o bien, en el marco de una red de intercambios de bienes y conocimiento. Dicha red puede tener cobertura local o integrarse a escala internacional. En otros términos, la moderna biotecnología, articula una forma de producción de abre múltiples oportunidades de negocios (y acumulación), previamente inexistentes.

Se define a la moderna biotecnología como la aplicación científica y tecnológica a organismos vivos, sus partes, productos y modelos destinados a modificar organismos vivos y/o materiales aplicados a la producción de conocimientos, bienes y servicios (OECD, 2006).

Se trata de una tecnología que tiene un conjunto de principios científicos y técnicos comunes y una larga lista de especificidades técnicas aplicables a desarrollos específicos. Es una plataforma tecnológica que sirve de base para tecnologías específicas de uso concreto en actividades productivas. Existen al menos tres “avenidas” donde se producen avances sustantivos (más allá de desarrollos tan prometedores pero aún experimentales que los hace poco previsible en términos de su aplicación productiva):

a) El uso de técnicas de biotecnología moderna para mejorar costos y desarrollar productos tradicionales. Por ejemplo el uso de marcadores moleculares (que implica un “salto”

⁶ Unos de los descubridores de la composición del ADN (Watson) expresó: “*Pensamos en el 1953, con Crick, que estábamos contribuyendo a una mejor comprensión de la realidad*”. “*No sabíamos que estábamos contribuyendo a su transformación*”.

⁷ La primera patente a un organismo vivo modificado corresponde a una bacteria modificada con capacidad de fagocitar determinados desechos provenientes de la industria petrolera. Dicha bacteria fue patentada en la legislación norteamericana en 1962.

técnico cualitativo respecto del estado previo del arte) para el entrecruzamiento natural de especies; en este caso, el producto final no varía y sigue siendo convencional bajo los parámetros de la biología clásica, pero el uso de esta técnica mejora la “eficiencia” de la investigación y (particularmente) el desarrollo. Otros ejemplos similares pueden encontrarse en la producción de medicamentos por técnicas recombinantes, que dan como resultado productos preexistentes pero a costos menores y/o con menos posibilidades de defectos. Desde el punto de vista productivo y comercial y legal al no modificarse el producto final, (por lo general) no son necesarios marcos regulatorios nuevos, a la vez que, en su explotación comercial, pueden utilizarse una larga serie de activos complementarios (las marcas, los canales de comercialización, parte de los equipos de empaque y distribución) desarrollados previamente⁸.

b) El “diseño de nuevas especies” a partir de incorporar -con procedimientos de cierta rigurosidad (ingeniería genética)- genes determinados en organismos preexistentes a fin de dotarlos de estructuras estables y/o funciones particulares. En tal caso estamos en presencia de la transgenia, dado que las técnicas disponibles permiten incorporar genes de otras especies. De este modo, la barrera que impone la naturaleza para la cruce inter-especie es salvada por la actividad científica. Para ello es necesario conocer en profundidad no sólo la biología del receptor, el gen (y sus características) que se desea incorporar, el vector/procedimiento para realizar dicha incorporación y el procedimiento en sí, sino también la complejidad biológica del receptor⁹. El desarrollo de esta faceta de la biotecnología es claramente comercial¹⁰.

c) La profundización científica del funcionamiento molecular, que opera como plataforma para nuevas aplicaciones. En particular se destaca, la identificación de los mapas genéticos, la “mecánica” de funcionamiento interno a las células, la identificación de los promotores, las relaciones entre proteínas y genes, los mecanismos de síntesis, los nexos entre determinados genes y patrones de conducta de los seres y otros aspectos similares. Como planteáramos previamente, en estos casos, la complejidad del tema, la vastedad de los objetos de análisis (la casi totalidad de los seres vivos) y los múltiples métodos de trabajo y “rutas técnicas”, dan como resultado (habitualmente) una segmentación de la actividad¹¹. El paso siguiente es plasmar estos desarrollos científicos a nivel aplicado.

⁸ Ello permite reforzar la competitividad en función de lograr una mayor sinergia entre el uso de nuevos procesos y/o herramientas a partir de la posesión de una serie de activos complementarios.

⁹ Los desarrollos cuentan con un receptor (con millones de genes) al que se incorporan unos pocos para cambiar muy parcialmente el conjunto de atributos que lo califican.

¹⁰ Ello se verifica en diversos aspectos: i) genera nuevos productos (entendiéndose por ello no sólo los contenidos del producto -por ejemplo el arroz con proteínas (*golden rice*) o el ratón fosforescente-, sino también sus conductas -por ejemplo, plantas con resistencia al stress hídrico o a bajas temperaturas-); ii) en su desarrollo intervienen nuevos insumos (como los genes, las técnicas de transgénesis, etc.) que demandan “arreglos” institucionales acerca de los derechos de propiedad; iii) el procedimiento de producción inicial y los derechos sobre las reproducciones posteriores; iv) su escalamiento productivos; v) la producción y distribución y vi) el marco regulatorio.

¹¹ Por lo general, algunos grupos científicos secuencian genes, otros aportan el soporte informático necesario (bioinformática), terceros tratan de identificar genes con rasgos y/o comportamientos, etc. Si bien se trata de una actividad científica (bajo algunos de los parámetros normales de ésta), tiende crecientemente a convertirse en una actividad económica, sujeta a mecanismos de intercambio de mercado. Ello es así dado que: i) las investigaciones se desarrollan en el marco de redes, donde diversos laboratorios realizan parte del proceso obligándose a algún mecanismo que rija el intercambio; este mecanismo puede ser el de mercado (coordinación anónima) o bien el de contractualización por parte de un coordinador jerárquico; ii) nuevamente, para minimizar los costos de transacción de estos intercambios se requiere de “arreglos” institucionales que permitan la apropiación tanto de productos (genes, proteínas, *arrays*, etc.) como de procesos (una secuencia de proteínas; una bacteria modificada que puede transportar e introducir en una célula a un gen). Esta breve descripción de este subsegmento

1.2 De la biotecnología como ciencia a la tecnología aplicada: ¿Una nueva plataforma de negocios?

El pasaje de un desarrollo científico a una técnica y el de ésta a una tecnología con validez comercial, implica, en el caso de la biotecnología una amplia gama de actividades. Se trata de una gran cantidad de “pasos” interrelacionados -con sus respectivas demandas hacia terceras actividades- que pueden ser efectuadas por un único agente o por una multiplicidad de ellos (requiriéndose en este caso mecanismos de derechos de propiedad que faciliten los intercambios); en otros términos, se trata de una actividad que, vista en perspectiva, presenta una amplia cantidad de “puntos de fuga” o de “puntos de ingreso” lo que abre las puertas y/o facilita/demanda la posibilidad de interconexiones. Aún considerando que se trata de un *continuum* de actividades, cabe señalar algunas características particulares.

Un primer conjunto de técnicas es común a todas las aplicaciones posteriores. Casos como la identificación de especies utilizando trazadores moleculares o las técnicas básicas de clonación no difieren sustantivamente según su aplicación posterior. A este conjunto de desarrollos se los conoce como tecnología horizontales y son relativamente estandarizadas y pasibles de ser incorporadas como parte de procesos formales de formación de recurso humano (cursos universitarios y similares). Tienen como activos críticos elevados umbrales de conocimientos en biología, química fina, e incluso bioinformática.

Un segundo conjunto de tecnologías, en cambio, es de uso específico en aplicaciones y/o casos concretos y como tales tienen un mayor grado de especificidad; por lo general su desarrollo y circulación es acotado a empresas o instituciones o forma parte de acuerdos entre ambos. Sus activos críticos se asocian con actividades específicas tanto en términos de conocimientos (fisiología vegetal y bovina; patologías humanas, etc.), como operacionales (variedades vegetales y animales, equipamientos, etc.).

Sumado a ello e incrementando la complejidad analítica, cabe sumar otros elementos desde la perspectiva de la posterior aplicación territorial de estas técnicas. Si se refieren a su uso en agricultura y/o ganadería, su aplicación debe contemplar la especificidades de suelos y climas regionales (en otros términos, la inexistencia de suelos y climas homogéneos a nivel mundial acota la posibilidad de una aplicación biotecnológica universal y uniforme); si la aplicación de técnicas generales y/o específicas recae sobre el campo de la salud humana, tampoco es dable encontrar patologías universales únicas, sino que existen múltiples enfermedades regionales¹²; algo similar ocurre en el plano de los alimentos donde las conductas sociales convalidan y/o niegan atributos alimenticios altamente subjetivos por regiones o grupos étnicos. Como resultado, si bien existen una serie de técnicas -genéricas y específicas por actividad- de corte universal, la presencia de especificidades locales en los diversos ámbitos de aplicación, requiere de procesos adaptativos a usos en regiones específicas.

El pasaje de una idea a un producto, en el caso de la biotecnología, tiene algunos rasgos particulares:

de la biotecnología aunque tiene una fuerte impronta científica, ilustra sobre la multiplicidad de “mercados” que se generan a partir de abrir la caja de Pandora que es la célula de un ser vivo; considerándolo en perspectiva local, alerta sobre la necesidad de cada espacio local de “reubicarse” en las redes de desarrollo de conocimiento de este tipo, ya sea como “proveedor” de algún desarrollo o como nodo operativo para coordinar y captar el resultado final; habitualmente los nodos de redes de este tipo se ubican en las mega empresas de biotecnología y/o en los institutos públicos.

¹² Incluso muchas patologías genéricas responden a organismos que, dado su poder de adaptación y/o mutación, tienen rasgos propios por regiones y/o grupos poblacionales.

- a) generalmente, las “búsquedas científicas” (aislamiento de un gen, relación entre un gen y el rasgo que determina, mapas genéticos, etc.) están orientadas desde el inicio por el desafío de resolver un problema (¿qué gen determina la insuficiencia suprarrenal?; ¿cuál es el desequilibrio que “altera” el comportamiento de algunas células y las vuelve cancerígenas?); en otros términos, el propio desafío conlleva una pre-orientación de los desarrollos científicos; se trata de usos genéricos;
- b) a poco de centrar la pregunta de investigación, surge la eventual aplicación a la solución técnica de un problema; estamos a un paso de lo pre-competitivo; sin embargo, el camino técnico elegido puede no ser el adecuado lo cual replantea el accionar del biólogo u otro científico inicial; se trata de usos específicos;
- c) obtenida la solución técnica, el paso siguiente es la viabilidad productiva; dado que el proceso es maleable, por lo general, ello obliga a replantear todo el esquema de desarrollo previo; de esta manera, los propios desafíos de la biotecnología conllevan a un mayor relacionamiento entre “lo científico”, “lo tecnológico” y “los negocios”;
- d) la complejidad de los desarrollos -aun en lo científico- abre las posibilidades/torna recomendable el “despiece” de las actividades a punto tal de que se generen múltiples oportunidades/necesidades (nuevas) de intercambio, que bajo ciertas circunstancias, se convierten en mercados (reales o potenciales); ello lleva a revalorizar conocimientos desarrollados previamente y a plantear nuevos mercados;
- e) existe un conjunto de tecnologías comunes a todos los desarrollos -tecnologías horizontales- y otras específicas para el desarrollo de aplicaciones concretas en sectores nuevos o en procesos nuevos de actividades preexistentes; y
- f) por lo general, las especificidades locales (climas y suelos, patologías, perfiles alimentarios, etc.) acotan la “universalidad” en estas tecnologías obligando a procesos adaptativos locales.

El pasaje de un desarrollo de laboratorio a un producto probado (funcionalmente), aprobado (regulatoriamente), que sea económicamente rentable y con ello permita un proceso de acumulación que sienta las bases para el desarrollo, implica otra larga serie de pasos -son sus consecuentes formas de organización-:

- a) desarrollado el producto/proceso es necesario el escalamiento industrial, etapa menos sencilla que en otras actividades dado que se trata de productos biológicos;
- b) esta etapa es concomitante con otro aspecto relevante cual es el marco regulatorio; ello se refiere no sólo a los derechos de propiedad sino a las condiciones seguridad, inocuidad y eficiencia de los desarrollos¹³;
- c) la etapa productiva (incluyendo proveedores de insumo, equipos, capacidad laboral, balance entre producción interna y subcontratación, etc.); y
- d) la distribución y otros procedimientos hasta llegar al consumidor; dadas las áreas finales de aplicación de la biotecnología (medicamentos, vacunas, terapias génica, insumos industriales, alimentos, etc.) cobran relevancia algunos activos

¹³ Cada uno de los cuales responde a marcos regulatorios nacionales para cada sector de aplicación en particular.

complementarios como las marcas, las relaciones contractuales previas, el almacenamiento, las cadenas de frío y, en general, la logística de distribución¹⁴;

En síntesis, la plena captación de la renta tecnológica y productiva, requiere no sólo del dominio tecnológico, sino fundamentalmente del control productivo, las capacidades para dar respuesta a las regulaciones y el manejo de los canales comerciales del producto hasta llegar al consumidor. En perspectiva el control tecnológico en los desarrollos iniciales si bien es la llave de entrada al negocio opera sólo a modo de condición necesaria para captar rentas; las condiciones suficientes, se asocian con el control de las restantes etapas. Obviamente, esto conlleva dos modelos polares de organización, conformados, el primero de ellos por mega empresas con una alta integración técnica y productiva (especialmente en las actividades nodales) y, el segundo, por la segmentación de actividades en el marco de tramados productivos más desconcentrados. Este marco analítico debe ser evaluado, considerando las aplicaciones en actividades concretas donde los países de la región cuentan, o bien con mínimos umbrales científicos, o bien con incipientes desarrollos productivos y comerciales (Encrucijadas, 2001).

2. Aplicaciones de la moderna biotecnología en la producción

2.1 Aplicaciones a la ganadería

Entendiendo por ganadería la cría doméstica de un conjunto acotado de especies en función de su aporte a la alimentación (carnes, leche) o la posterior industrialización (cueros, grasas, pelos, etc.) una primera posibilidad es el uso de estas tecnologías para identificar rasgos que permitan guiar el proceso de selección y entrecruzamiento natural. Se trata de un conjunto de herramientas de base genética que permiten conocer -vía *test*- la “calidad” de algún subproducto deseado¹⁵.

El uso de la biotecnología permite inicialmente identificar “objetivamente” los genes que son responsables de los atributos deseados o, por la negativa, no deseados; otros desarrollos posteriores, permiten -en base a extracción de material vivo (sangre, pelo, células epiteliales, etc.)- contar con *tests* que validan o no la existencia de tal conjunto de genes. Ello permite reemplazar los mecanismos subjetivos de identificación de calidad (*pedigree* en base a datos antropomórficos y/o rendimientos *ex post*) por sistemas más objetivos. “Aguas abajo” en las etapas industriales restantes, ello facilita tipificar la calidad de la materia prima que ingresa a la industria, con el consiguiente mecanismo de mejora de precios por calidad (y con ello abre las puertas a la diferenciación del producto final)¹⁶.

¹⁴ En estos casos se torna relevante la relación entre la producción de los nuevos productos con las estructuras administrativas, de gestión, de producción y de distribución, preexistentes que cobran mayor valor y permiten captar con mayor plenitud las rentas de los nuevos desarrollos.

¹⁵ El espesor de la lana, la terneza de la carne, la cantidad y ubicación de grasa en carne, los niveles de producción de leche (en bovinos y caprinos) así como su composición (grasas proteínas, lípidos, etc.), responde a la preponderancia/existencia de un conjunto de genes específicos en determinados animales de una especie.

¹⁶ Por ejemplo, en Nueva Zelanda, existe un procedimiento por el cual los reproductores de ganado bovino para carnes, son categorizados por estrellas (cinco es el máximo). La clasificación se efectúa por métodos de trazadores genéticos, en bases al porcentaje de presencia de genes predeterminados de los animales; los genes que se usan como calificadores son una treintena que explican la terneza final de la carne; otra decena de genes considerados como deseables, se asocian con el marmoreado de grasa en carne. Ambos atributos son altamente valorados (con el consecuente sobreprecio) en el mercado ABC de Japón. De esta forma, una técnica de la moderna biotecnología aplicada al cruzamiento y la reproducción natural permite objetivar la calidad del animal (en reemplazo de los mecanismos

CUADRO 1
APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA A LA GENÉTICA ANIMAL

Técnica	Casos	Efectos
1. Identificación total/parcial del mapa genético (y/o genes específico)	<ul style="list-style-type: none"> . genes de terneza en bovinos . genes de proteínas, lípidos y otros en leche . manifestaciones de genes de marmoteado de carne . genes de espesor de calidad de lana en ovejas . mapa de genes que identifican como único al individuo . identificación conjunto de genes de fenotipo 	Objetivación de la terneza (en origen del bovino) Objetivación de la calidad de producción láctea Idem primer ítem Mejor calidad de la materia prima Permite sistemas inviolables de identificación y rastreabilidad Optimiza los procesos naturales de entrecruzamiento; objetiva la calidad de las razas (cambia subjetividad por parámetros objetivos de productividad de la materia prima primaria)
2. Clonación	<ul style="list-style-type: none"> . Animales para experimentación . Animales transgénicos para leches modificadas . Animales transgénicos para trasplantes de órganos con mínimo rechazo . Animales en extinción 	Mejora costos/calidad de investigaciones Nuevos productos finales
3. Modificaciones transgénicas (suma de genes inter especies)	<ul style="list-style-type: none"> . genes que “sobre” producen defensas orgánicas naturales . genes de coloración . genes que mejoran la transformación alimento/carnes/grasas/leche . genes que modifican los procesos ruminales (menor emisión etanol) . genes que mejoran la resistencia a condiciones climáticas 	Nuevos productos Nuevos productos Menores costos Menores costos / mejora ambiental Menores costos
4. Técnicas asociadas	<ul style="list-style-type: none"> . inseminación artificial . fertilización in Vitro . sexado de embriones . sexado de semen . test de evaluación <ul style="list-style-type: none"> . identificación . de cualidades predeterminadas . de patrones de razas 	Mejora calidad de rodeos / mejora de materia prima industrial Mejora proceso de selección Mejora de costos y producción Mejora costos de producción en carne y leche por selección
5. Descripción de los mapas genómicos	Tecnología de base que mejora todas las técnicas previas	

Fuente: elaboración propia en base a información secundaria.

Un segundo uso, ya de mayor complejidad, es la clonación de animales; se trata de reproducir ejemplares de alta productividad, con rasgos deseables y/o en vías de extinción. En los primeros de los casos, el procedimiento -aún técnicamente imperfecto- implica, por un lado, un salto cualitativo en los milenarios procesos de selección, pero, por, otro introduce el riesgo de acotar la variabilidad biológica al centrar el hasta ahora “proceso de selección natural” a un rango acotado de tipos de animales por especie.

Un nivel avanzado de complejidad está contenido en la tercera de las grandes actividades, donde se trata de modificar el perfil genético de los animales en base a introducción de genes que cambien ya sea la conformación o la calidad de la producción de algún derivado (como la leche). Los casos posibles son múltiples, pero las realizaciones concretas se centran en un número

habituales de registros de razas en base a características antropomórficas). Procedimientos similares comienzan a instrumentarse en varios de los principales países exportadores de carnes del mundo.

acotado de casos. Los más relevantes se ubican en la producción de animales transgénicos cuya leche contenga determinadas modificaciones. Son los primeros pasos hacia los denominados “nutracéuticos”, donde las modificaciones génicas apuntan a dotar a la leche de una serie de elementos que previamente provenían de aditivos nutrientes y/o medicamentos. Mayor nivel de proteínas, sobreproducción de determinadas hormonas incluidas en la leche (que posteriormente serán extraídas y refinadas) y otras metodología ya son emprendimientos científicos/productivos reales. Se trata de que los animales produzcan naturalmente -vía instrucciones genéticas modificadas- elementos que en algunos casos provenían naturalmente del cuerpo humano y que -ante su carencia- fueron durante décadas sintetizadas por la vía farmoquímica¹⁷.

Finalmente, existe otro conjunto de tecnologías biológicas avanzadas (eventualmente previas a la moderna biotecnología). La más sencilla de las técnicas es la de inseminación artificial que permite mejorar rodeos bovinos en base a un número acotado de reproductores seleccionados; en un proceso de selección ello implica que unos de los pares reproductivos mejore sustancialmente en la descendencia. La técnica siguiente (en complejidad) es el aislamiento de óvulo y la fertilización *in vitro* para su posterior implantación en vientres donantes; ello, si bien no implica ninguna técnica inter-especie, permite cruzar -en grandes cantidades- machos y hembras seleccionados mejorando el proceso natural. Cabe recordar que siempre que se trabaje con estas técnicas tiende a reducirse el espectro de variabilidad dentro de una especie para concentrarse en una determinada línea. Otra técnica que se encuentra en el límite entre lo biológico y el control de algunas herramientas biotecnológicas es el sexado de semen y/ o embriones. Nuevamente en estos casos se aúnan ciertos desarrollos científicos y de procedimientos con otros claramente inducidos por la demanda de mercado¹⁸.

El impacto real de estos desarrollos debe medirse, sin embargo, por el modelo tecnológico y productivo preestablecido en estas actividades. En la actualidad la producción de carne, leche y/o otros insumos provenientes de los animales (excluidos los mercados de animales de recreación) operan sobre la base de un modelo tecnológico caracterizado por:

- a) el grueso de la genética no es producida por los productores lácteos o de carnes; por lo general existe un nodo previo -la cría de animales para reproducción en “las cabañas”- donde está la mayor riqueza tecnológica;
- b) el uso de tal genética (reproductores) se transmite con la propiedad del animal;
- c) tal propiedad y la posterior diseminación puede darse por métodos naturales o artificiales (inseminación, implantación de embriones, etc.);
- d) en este último caso media otro conjunto de expertos más cercanos a los aspectos científicos cuanto más complejo es el mecanismo utilizado; aparecen las empresas de genética bovina, equina y/o lanar, distintas de las cabañas y de los propios productores.

¹⁷ Esta veta productiva se complementa con los primeros intentos de producción de animales con determinados órganos que sean compatibles (con bajo rechazo) en transplantes hacia seres humanos. Se trata de modificar animales (particularmente cerdos), a fin de que determinados órganos (corazón, páncreas) puedan ser total o parcialmente implantados en humanos con menores síntomas de rechazo que los derivados habitualmente de los transplantes inter-humanos. Ello eliminaría además el problema de la falta de donantes.

¹⁸ Si la actividad final es la cría de hacienda para carne, interesa seleccionar inseminación artificial en base exclusivamente a machos, mientras que si se trata de lechería, interesa un procedimiento que predetermine el nacimiento de hembras (capital reproductivo).

El impacto real de los desarrollos queda mediado -por el momento y para las producciones masivas- por el modelo tecnológico donde, entre el usuario -productor agropecuario en este caso- y el oferente, existen crecientes mercados. En términos de Pavitt (1984) se trata de un sector que depende de proveedores de insumos, -en este caso, la genética¹⁹.

A ello cabe sumar otro modelo si el destino final no es -como en carnes y lácteos- el consumo final, sino la producción de principios activos para uso humano, intermediarios para terapias génicas; en estos casos la posterior difusión está muy unido a los modelos prestacionales de salud preexistentes. Las facilidades preestablecidas (de producción de servicios de salud, de medicamentos, los canales comerciales, las marcas etc.) son esenciales tanto en el proceso de difusión de la nueva tecnología como en la captación de rentas diferenciales asociadas a su uso.

Existe una amplia gama de posibilidades de utilización de la biología avanzada, y de la ingeniería genética aplicada a los procesos de selección y desarrollo de animales. Las mismas tienen, en lo sustantivo tres tipos de impactos: i) tienden a mejorar el proceso de selección “natural” acortando los lapsos temporales del proceso; ii) generan nuevas tecnologías capaces de objetivar determinados atributos de los animales (y/o de sus posteriores producciones); iii) implican productos nuevos y/o usos de “productos naturales” pero modificados; iv) establecen procesos de producción donde se induce a un organismo animal a la producción de determinados componentes químicos preexistentes en la naturaleza (que reemplazan a otros previos que provenían de la industria química).

2.2 Aplicaciones a la genética vegetal

La relevancia inicial de la biotecnología aplicada al agro se relaciona con el relevante papel que tiene éste en la seguridad alimentaria²⁰. Las aplicaciones de la biotecnología a la genética vegetal tienen algunas similitudes y otras diferencias con el caso analizado previamente.

Inicialmente se destaca que los granos (excepto algunos casos) funcionan como bienes de capital (semillas) con capacidad de reproducción y/o como bienes finales (granos) en sus diversos usos. Sus procesos reproductivos son más cortos (especialmente para los cultivos más destacados) y su desarrollo se da en el marco de paquetes tecnológicos cada vez más complejos (incluyen fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.). En su explotación se requieren grandes superficies (a diferencia de la ganadería y/o la lechería que pueden confinarse a espacios acotados), lo cual los hace muy sensibles a múltiples necesidades de adaptación a suelos y climas. Ello lleva al concepto de variedad cuya amplitud es mucho mayor que en el caso de los animales. De hecho, las variedades como tales tienen -como veremos posteriormente- sistemas de reconocimientos de derechos de propiedad con regímenes específicos (obtentores vegetales).

Esta distinción es relevante -a los propósitos del presente trabajo- dado que cada mejora biotecnológica debe operar a partir de vegetales preexistentes que han sido objeto de mejoras previas (vía entrecruzamientos naturales y/o hibridación). Dichas mejoras fueron/son reconocidas (bajo diversas formas) por mecanismos de derechos de propiedad intelectual. A partir de estas especificidades y considerando siempre que los vegetales son la base de la cadena alimentaria del complejo de los animales (incluido el hombre), el tema adquiere una relevancia adicional.

¹⁹ No todos los productores usan reproductores de alta genética (se estima que ellos no superan -para Argentina y Brasil- el 10%), lo cual abre otro mecanismo de “transmisión” hasta el usuario final.

²⁰ La FAO estima que se producen por año alrededor de 1,3 trillones de dólares en alimentos. A nivel agrícola -dada la superficie explotada y las tecnologías utilizada- el informe señala que se pierden por año unos 500 billones de dólares por insectos y malezas; unos 120 miles de millones debido a problemas de post cosecha (hongos, bacterias y demás) y un monto similar por problemas de suelos (erosión, drenajes inadecuados, etc.) FAO (2005).

Veamos los principales avances en la materia siempre tratando de discernir lo real de lo posible (distinción que no implica desechar esto último máxime si se considera que los actuales desarrollos productivos de la biotecnología tienen más de una década de introducción al mercado y más de dos décadas de desarrollo tecnológico).

CUADRO 2
APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA A GENÉTICA VEGETAL

Técnica	Casos	Efectos
1. Clonación	Aplicación a producción de plantines (tabaco, flores, coníferas, y otros)	Produce ejemplares libres de enfermedad Homogeniza la calidad de la materia prima Mejora la eficacia reproductiva Modifica las técnicas posteriores de cultivo Estabiliza nuevas especies
2. Secuenciación de genoma	Stress hídrico Resistencia a insectos (inhibe la producción de toxinas) Coloración Madurez Contenidos específicos (proteínas y/o otros)	Facilita y acorta los procesos de entrecruzamiento natural Permite test para validar calidad de los cultivos
3. Modificaciones genéticas	Soja, maíz, canola, algodón Pasturas (todos resistentes a herbicidas seleccionados) Maíz y otros (inmunes a determinados insectos) Arroz (con proteínas) Oleaginosas con grasas saturada	Reducciones de costos de producción Amplía fronteras productivas Mejora el producto final (contenidos de alimentos) Elimina etapas industriales

Fuente: elaboración propia en base a información secundaria.

Los primeros desarrollos consistieron en aislar parte del germoplasma y lograr la reproducción in vitro de plantines, libres de toda enfermedad. Aislado un ejemplar que se desea multiplicar, la micropropagación es una técnica que permite reproducir n veces la planta en laboratorio y cambiar la lógica de los viveros al pasar de la semilla al laboratorio como espacio de reproducción. Tecnología que dos décadas atrás era considerada de avanzada, en la actualidad tiene una moderada difusión y se aplica a una gran variedad de cultivos. Nuevamente, clonar ejemplares en base a un varietal inicial afecta la diversidad de largo plazo, pero mejora amplios sectores industriales pues homogeniza la calidad inicial de la materia prima. Se aplica extensivamente en la producción de plantines para tabaco, árboles diversos para pasta de celulosa, frutales y en general, aquellos cultivos que se producen inicialmente en viveros y luego se implantan individualmente.

Un segundo conjunto de técnicas se refiere a la identificación de genes y secuencias que son los responsables de contenidos finales de granos y/o de la conducta respecto de determinados eventos externos (climas, atractividad/repulsión a insectos, salinidad de suelos, etc.). Ello - además de identificar características- permite contar con instrumentos -los trazadores moleculares- que caracterizar atributos de una variedad de planta (altura, tipo de raíces, etc.) lo cual mejora proceso de cruzamiento entre especies compatibles; es decir, no implica transgenia, sino un procedimiento de compleja biología que mejora los sistemas tradicionales. Si a ello le sumamos el manejo de técnicas de cultivos in vitro, la reducción en los tiempos de selección por cruzamiento natural mejora sustantivamente²¹.

²¹ Un ejemplo de ello es el desarrollo de un arroz resistente a una plaga (el arroz rojo), logrado por entrecruzamiento natural, pero que demandó el conocimiento de un gen específico. A lo largo del

El tercer capítulo es la transgenia; o sea, a partir de la identificación y el aislamiento de uno o varios genes de otras especies, se suma a la variedad preexistente y se obtiene una planta nueva²²; si ésta es autógama (se autofecunda) se reproduce establemente n veces; si la base es un híbrido y/o una alógama (necesita de otra que la fecunde), en la segunda reproducción no está asegurado el mantenimiento de los rasgos iniciales. Los genes que se suman pueden operar en dos direcciones: i) cambian la conducta de la planta pero mantienen los contenidos deseables finales inalterados; ii) se modifican los contenidos finales.

En el primero de los casos, los efectos más habituales redundan en mejoras en los costos de producción (por resistencia a herbicidas, a lepidópteros, etc.), hechos que permiten reducir etapas productivas, mejorar tecnologías de implantación (como el caso de la siembra directa), acortar lapsos productivos (dando lugar al doble cultivo o al uso de nuevas tierras donde los climas acotan las posibilidades de producción en ciclos largos). El grueso de los desarrollos actuales, que se difundieron rápidamente en el mercado, se refieren a este tipo de impacto; entre ellos cabe mencionar la soja/algodón/maíz/alfalfa tolerante al glifosato y el maíz/algodón/alfalfa resistente a los lepidópteros, tomates resistentes a heladas, mayor producción de esteroides en tabaco, remolacha resistentes a virus, colza con mejores calidades de aceites. En todos los casos, mejoran las estructuras de costos de producción pero dan como resultado granos que -desde la perspectiva de los usos posteriores- no tienen modificaciones sustantivas. Recientemente comenzaron a lanzarse al mercado semillas que contienen varios genes apilados; el caso paradigmático es el de un maíz -liberado a la venta en EE.UU. en 2006- con promotores que lo hacen resistente a los lepidópteros y en simultáneo con un gen que lo hace tolerante al glifosato (Solbrig, 2004; www.monsanto.com; www.syngenta.com)²³.

En el segundo de los casos, las modificaciones implican cambiar el contenido del producto final (el grano) suprimiendo algunos rasgos y/o adicionando contenidos. Los casos más difundidos se refieren a un arroz con proteínas; oleaginosas (colza y sojas) con bajos contenidos de aceites saturados; otros como mayor nivel de omega 3²⁴.

Al igual que el propio desarrollo del evento inicial (a nivel científico), este tipo de producto implica la generación de una gran cantidad de nuevos mercados, ubicados habitualmente en el área de servicios y muy sensibles a los requerimientos de las demandas finales y de los marcos regulatorios nacionales.

La creciente difusión de los transgénicos en la agricultura tiende a modificar sustantivamente la forma de organización dada la emergencia/consolidación de nuevos actores (los “fabricantes” de semillas que provienen de la industria química y/o farmacéutica; los proveedores de insumos químicos asociados a tales semillas; los suministradores de servicios

tiempo el uso de un herbicida para combatir el arroz rojo (maleza) hizo (en algunos ámbitos) desarrollar en éste un gen resistente a dicho herbicida. A partir de ello, por diversos métodos se identificó dicho gen y comenzó un entrecruzamiento entre el arroz convencional y el arroz rojo, lo cual derivó en un arroz logrado por métodos reproductivos convencionales, pero que contiene un gen que lo tornó resistente al herbicida. Existen dos antecedentes de estos desarrollos: el INTA de Argentina y la Universidad de Illinois de EE.UU. (INTA, 2007).

²² Otra variante es, no la adición de (todo o parte de) un gen, sino la supresión de alguno.

²³ *La Farm Progress Show* es una Mega Exposición de campo en EUA. En la edición 2007, Monsanto presentó su maíz con triple inserto genético, resistente a herbicidas, a insectos y tolerante a sequía, ya aprobado en aquel país.

²⁴ En tales casos, se trata de una diferenciación del producto, que al no poder identificarse visualmente (por color o forma) obliga a procesos -análisis de por medio- de segmentación en las etapas de producción, comercialización, acondicionamiento y posterior ingreso a la fase industrial. A consecuencia de ello, se plantea la necesidad de certificaciones de todo el proceso.