

*Biotecnología: clave para el
aprovechamiento de la biodiversidad.*

VENTURA GONZÁLEZ ROSQUEL

FONDO
NACIONAL DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS

¹ Durante la última década del siglo xx, ha ocurrido un resurgimiento de la conciencia global del valor potencial que los recursos de la biodiversidad representan para los países del mal llamado «Tercer Mundo». El desarrollo acelerado que en ese mismo período ha experimentado la biotecnología, ha sembrado la esperanza de que esta se convierta en la herramienta para transformar ese valor potencial en valor real.

² La Declaración de Manaos (DM), en cuanto a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), adoptada por los Presidentes de los Países Amazónicos en su 11 Reunión, celebrada en la ciudad de Manaos, Brasil del 10 al 11 de febrero de 1992 (BRACK 1993), contiene entre los acuerdos, referidos a la diversidad biológica, los siguientes:

- 1 | «Los recursos biológicos son indiscutiblemente recursos naturales de cada país que, por lo tanto, ejercen sobre ellos su soberanía. Se hace necesaria una acción inmediata para promover la conservación y el uso sustentable de la diversidad biológica. Esas actividades deben, así, ser realizadas por los países también con el apoyo de la cooperación internacional basada en acuerdos intergubernamentales».
- 2 | «Se debe dar más énfasis a la utilización y al desarrollo sustentable de estos recursos que a su simple conservación, a fin de maximizar y difundir sus beneficios».
- 3 | «La diversidad biológica y la biotecnología mantienen una relación intrínseca, que constituye una de las oportunidades más claras de desarrollo sustentable. La biotecnología depende en alto grado de la conservación de los recursos genéticos y biológicos, especialmente en los países en desarrollo ricos en diversidad biológica».
- 4 | «El acceso a los recursos de la diversidad biológica debe incluir, necesariamente, aquellos que son fruto de la biotecnología, así como los recursos silvestres y cultivados. Es necesaria la cooperación internacional para el desarrollo endógeno de la investigación en biotecnología en los países donde se originan los recursos biológicos».

³ Estos acuerdos de la Declaración de Manaos, que consagran los principios del ejercicio de soberanía por los países originadores de diversidad biológica, el uso de los mismos tendiendo al desarrollo sustentable, la utilización de la biotecnología como una herramienta para la comprensión y aprovechamiento de estos recursos, se constituyen en las bases fundamentales del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), aprobado en Junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil y ratificado posteriormente por la mayoría de los países del mundo (PNUMA 1993). Este convenio se ha convertido en la ley marco a escala global para el acceso y aprovechamiento de los recursos de la diversidad biológica. Ese interés en la biotecnología para apoyar el uso de los recursos de la diversidad biológica, en función de un desarrollo sustentable, se plasma en el CDB en su Artículo 19: «Gestión de la biotecnología y distribución de sus beneficios».

⁴ Las diferencias en la velocidad de evolución del conocimiento científico tecnológico, entre los países desarrollados y los países «en desarrollo» se hacen cada vez más amplias y evidentes, muy especialmente en el caso de la investigación en biotecnología. Sin

embargo, la dependencia de los primeros respecto a los recursos naturales de los últimos abre espacio para que se establezcan mecanismos de negociación que permitan un aprovechamiento equitativo, tanto de los conocimientos científico tecnológicos como de estos recursos para ambos grupos de países (GONZÁLEZ 1997a,b).

- ⁵ En este capítulo, se pretende abrir un diálogo con la intención de orientar la formulación de políticas dirigidas al aprovechamiento sustentable de los recursos de la diversidad biológica con base al uso de las biotécnicas más adecuadas para tales fines.
- ⁶ La biodiversidad constituye, para los países en desarrollo, un recurso de mucho valor, que sólo puede aprovecharse en pro del desarrollo, sobre la base de una excelente capacidad de negociación y de un desarrollo científico tecnológico sostenido.

BIODIVERSIDAD

DEFINICIÓN

- ⁷ El Convenio sobre la Diversidad Biológica, define a esta como: «La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas» (PNUMA 1993).

IMPORTANCIA

- ⁸ Si restringimos nuestra visión a los ecosistemas terrestres y asociamos la presencia de diversidad biológica a la existencia de cubierta forestal, que se extiende a escala global en un 26 por ciento del total del área de tierras emergidas, podemos decir que la diversidad biológica está distribuida a través de todo el globo terráqueo, encontrándose regiones con mayor concentración que otras. Los bosques tropicales ocupan el 51 por ciento de la cubierta forestal global. Se estima que estos bosques albergan el 50 por ciento de todas las especies vivientes del planeta, incluida una gran proporción de plantas y animales superiores. En América Latina y el Caribe se encuentra el 28,5 por ciento de la cubierta forestal global y el 52,3 por ciento del área de bosques tropicales del mundo (FAO 1994).
- ⁹ La diversidad biológica de la región latinoamericana ha sido objeto de prospección por parte de otros países, con fines de usos múltiples, desde el mismo momento del descubrimiento. Previo a esto, los pobladores originales hicieron un uso intensivo de plantas y animales con fines alimenticios, medicinales, para vestimenta, viviendas y otros usos. El acervo cultural desarrollado con estas prácticas constituye, en sí, parte del valor de la diversidad de la región. El traslado de estos y los conocimientos sobre sus usos a otros continentes contribuyó, en gran medida, al establecimiento de las bases del sistema alimentario mundial, así como de buena parte de la farmacopea de nuestros días. El flujo de los recursos de la diversidad biológica ha tenido un carácter libre y multidireccional, siendo así como se establece una relación de interdependencia entre varias de las regiones del mundo en términos de estos (FAO 1995). Sin embargo, es notable que en el caso de los países originadores de biodiversidad esa dependencia es mutua, no así con los países del mundo desarrollado, con muy pocos recursos de este tipo, pero con gran dependencia de ellos. Es en estos países donde el desarrollo científico tecnológico, orientado a la explotación de estos recursos, va aparejado al crecimiento de sus necesidades por los mismos. El flujo de ese otro recurso, como lo es la tecnología,

no ha sido tan libre ni multidireccional en los últimos tiempos, limitándose su acceso para los países menos desarrollados, por su baja capacidad de compra de los mismos.

TIPOS DE USO Y SU EFECTO

- ¹⁰ Uno de los grandes problemas enfrentados en la preservación de la biodiversidad es la constante erosión que esta sufre, fundamentalmente como consecuencia del uso no sostenible de sus recursos. A los diferentes tipos de uso puede calificárseles de sostenibles o no según el efecto que produzcan. Así, podemos señalar como sostenibles, la explotación con fines alimenticios, medicinales y otros de carácter extractivo consciente, practicado por los pobladores de las áreas naturales donde se asientan los centros de origen de diversidad biológica (GODOY y BAWA 1993). Estas actividades son, entre otras, la pesca y caza para alimentación sin fines comerciales y la agricultura de conuco no itinerante. Otro uso que propicia la conservación de estos recursos es el recreacional, el ecoturismo practicado en parques nacionales y zonas protegidas. Para que estos usos tengan un efecto conservacionista, sólo se requiere de políticas coherentes con este fin y la aplicación de medidas adecuadas de control (GONZÁLEZ 1997a).
- ¹¹ Entre los usos no sostenibles, que causan seria erosión de los recursos de la diversidad biológica, están la explotación agrícola intensiva de alta tecnología, la explotación maderera no controlada, la pesca industrial y la caza con fines comerciales. Algunas de estas actividades son inevitables de llevar adelante, ya que de ellas depende el desarrollo económico de algunas regiones. Sin embargo, con la aplicación de las medidas adecuadas de control y sobre todo de tecnología apropiada, se puede minimizar el impacto que causan (STONE *et al.* 1997).
- ¹² Además del uso directo de la biodiversidad, existen otras actividades que causan serios efectos erosivos, entre las más relevantes se pueden mencionar la minería, la explotación de hidrocarburos, desarrollos urbanísticos, industrias contaminantes o devastadoras, como sería la construcción de presas para la generación de energía eléctrica. Para estos casos, además de las medidas pertinentes de control, es necesario contar con tecnologías de remediación, que subsanen los daños causados (STONE *et al.* 1997).

BIOTECNOLOGÍA

DEFINICIÓN

- ¹³ Las definiciones de biotecnología han evolucionado en la medida que se ha ido ampliando el espacio cubierto por esta. Sin embargo, para los efectos de su aplicación sobre la diversidad biológica usaremos la que está contenida en el CDB, el cual la define como: «Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos». Tal como se indicó anteriormente, la biotecnología se ha considerado como una de las herramientas tecnológicas de avanzada de gran potencial para las actividades de prospección, conservación, caracterización y uso de la biodiversidad (FERREIRA *et al.* 1996).

BIOTÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA

- ¹⁴ El cultivo *in vitro* de ápices meristemáticos se ha utilizado ampliamente para la conservación de germoplasma de plantas de diferente tipo, especialmente las de propagación asexual (ENGELMANN 1991). Ejemplos destacados son el banco de germoplasma de yuca mantenido de esta manera por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia, los bancos de germoplasma de papas, batata y otros tubérculos

andinos mantenidos por el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú y el banco de germoplasma de *Dioscorea* mantenido por ORSTOM (MALAURIE *et al.* 1993, SELA 1995, GONZÁLEZ 1997a). En buena parte de los países latinoamericanos y de otras regiones del mundo, se conserva parte de este material, con fines de uso inmediato, en mejoramiento genético o evaluación y propagación para su uso comercial. Esta técnica ha sido usada también en campo para la prospección de materiales difíciles de mantener en buenas condiciones en el tiempo de duración de la expedición de colecta.

¹⁵ A pesar de haberse diseñado protocolos que permiten minimizar los costos de este tipo de técnicas, estas son para conservación a corto plazo y debe realizarse repiques constantes del material lo cual tiene un costo elevado y consume tiempo y recursos humanos. La criopreservación de tejidos y órganos se ha ensayado exitosamente en algunas especies como una técnica de conservación a largo plazo, reduciendo los costos (MALAURIE *et al.* 1998).

¹⁶ En el caso de animales, la criopreservación de semen y embriones ha sido utilizada exitosamente en el mantenimiento de materiales y aún en la comercialización de genotipos de alto valor.

BIOTÉCNICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

¹⁷ Tradicionalmente, los materiales genéticos de la diversidad biológica, colectados y conservados en colecciones, se han caracterizado mediante el uso de marcadores morfológicos. Estos marcadores, usualmente, han sido relacionados con características de importancia taxonómica y económica de estos materiales. Con su uso, se han podido establecer criterios sobre la variabilidad genética dentro de especies y entre especies y por muchos años, han sido los factores a considerar en la selección de genotipos superiores. A pesar de que han sido y siguen siendo útiles en identificar estos genotipos, la determinación de sus valores es poco confiable, por estar su expresión fenotípica muy influida por las variaciones del ambiente.

¹⁸ En la medida que se ha tenido una mejor comprensión de los patrones metabólicos de los diferentes organismos vivos, se ha buscado otro tipo de marcadores más confiables desde el punto de vista de su más estrecha relación genética con los valores de las características en estudio. Este próximo nivel lo constituyen los marcadores bioquímicos y moleculares. En este grupo se ubican los productos del metabolismo secundario y las isoenzimas. Estas últimas han tenido una gran difusión y se han utilizado en diferentes organismos vivos, con el fin de establecer los niveles de variación genética en y entre los diferentes niveles de agrupación. Por estar su expresión libre del efecto de la variación ambiental alcanzan un nivel de precisión superior a los marcadores morfológicos, pero aún así, su alcance es relativamente limitado, en términos del número de loci que puede cubrirse con esta biotécnica (LANAUD 1986).

¹⁹ Los marcadores de ADN se basan en el análisis de la secuencia del ácido desoxirribonucleico ADN. Estos marcadores han ido evolucionando desde los más generales a los de mayor poder de especificidad. La primera generación de marcadores de ADN la constituyó el polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP), obtenidos por efecto de endonucleasas específicas sobre el ADN (TANKSLEY *et al.* 1989). La comparación de las longitudes de los fragmentos generados por endonucleasas específicas permite diferenciar o identificar genotipos. El procedimiento, en simples términos, consiste en fragmentar un ADN que se desea analizar y luego comparar el polimorfismo

generado por la endonucleasa, mediante la separación de los fragmentos por electroforesis y la hibridación con sondas de secuencias complementarias de ADN, radioactivamente marcadas. Si estuviéramos frente a una mutación habría diferencia en el tamaño del fragmento con el cual se hibridiza la sonda (LERCETEAU *et al.* 1993).

- 20 Los marcadores basados en la técnica de reacción en cadena de polimerasas (PCR) representan una generación más avanzada y se basan en la amplificación enzimática de un segmento de ADN por la polimerasa del ADN, bajo condiciones controladas *in vitro*. Segmentos de ADN delimitados por «primers» son amplificados geoméricamente. Luego de algunos ciclos de amplificación se obtienen altas cantidades de la secuencia, que pueden visualizarse, después de la separación por electroforesis, mediante el uso de bromuro de etidio, compuesto que provoca una reacción de fluorescencia del ADN bajo la luz ultravioleta (MOHAN *et al.* 1997a).
- 21 La técnica de ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD) es una variación de la PCR que detecta polimorfismo en todo el genoma al azar. Esta técnica se ha utilizado para identificar y diferenciar introducciones dentro de diferentes especies. Son marcadores obtenidos por la síntesis de fragmentos de ADN con capacidad para acoplarse con «primers» de oligonucleótidos con secuencia aleatoria, a distancias que permiten la amplificación. El «primer» aleatorio se acoplaría a cualquier sitio de la cadena de ADN con una secuencia complementaria a la suya (LERCETEAU *et al.* 1993). Otro tipo de marcadores son los minisatélites, o secuencias repetitivas de ADN, de alrededor de unos 100 nucleótidos, agrupadas o dispersas a través del genoma del individuo. Estas secuencias son de gran utilidad en la identificación de genotipos y para establecer uniformidad o variación entre individuos.
- 22 Los microsatélites son, en esencia, muy similares a los minisatélites, pero se diferencian en que las secuencias repetitivas, de menor tamaño, de 1 a 4 nucleótidos, son más polimórficas y tienen una mejor distribución a través del genoma. En estos se utiliza la técnica de la reacción en cadena de polimerasas (PCR) (MOHAN *et al.* 1997a,b).
- 23 Actualmente, se llevan adelante una serie de proyectos dirigidos a establecer el genoma de algunas especies de plantas. El más avanzado de estos es el de *Arabidopsis thaliana*, el cual se espera completar para el 2004. En arroz, de los 30.000 genes estimados, han sido identificados 4.500 y se tiene un mapa genético de los doce cromosomas de arroz bastante completo. En otras especies cultivadas también se trabaja en esta línea. Se espera con esto poder establecer programas de mejoramiento genético asistidos por marcadores moleculares, lo cual permitirá el manejo de la selección de características complejas, al identificar las contribuciones de los progenitores correspondientes. Se ha logrado aislar genes de interés agronómico, como los nueve genes de resistencia a enfermedades de origen fúngico, bacteriano y viral que se han identificado en tomate, tabaco y lino (FAO 1997).
- 24 La utilización de estas tecnologías sería de gran ayuda en acelerar el proceso de determinación del valor de los recursos de la biodiversidad. Sin embargo, debido a su alto costo, se hace necesario negociar la transferencia de estas tecnologías, mediante asociaciones estratégicas que faciliten la formación de recursos humanos y el mejoramiento de la infraestructura de los laboratorios.

- ²⁵ Como se indicó antes, los usos más relevantes de la diversidad biológica han sido en la agricultura y la medicina. La domesticación y mejoramiento genético de especies vegetales y animales, el manejo de los ecosistemas marinos y acuáticos en general, han constituido las bases sobre las que se asienta el sistema alimentario de la población que vive sobre el planeta. Así mismo, la transmisión, a través de generaciones, del conocimiento sobre las propiedades de gran número de plantas para aliviar enfermedades, ha sido la base de la farmacopea de las civilizaciones antiguas y recientes. El aprovechamiento de tales recursos naturales y del conocimiento acumulado sobre ellos, ha permitido recientemente, con la aplicación de técnicas avanzadas, hacer un uso muy efectivo de ellos en beneficio de la humanidad (GENTRY 1993).
- ²⁶ Los marcadores genéticos, bioquímicos y moleculares han permitido la elaboración de mapas cada vez más densos del genoma de especies de interés. Estos mapas, facilitan las labores de selección que con el mejoramiento genético tradicional se basaba en marcadores fenotípicos, muy influenciados por el ambiente. Así mismo, la identificación de genes de interés para la solución de problemas presentes en los materiales que se usan comercialmente en la producción de alimentos. Ahora, con la ayuda de las técnicas de ingeniería genética, estos pueden ser aislados y trasladados entre especies, sin importar si existe o no afinidad genética en ellas. Un caso de gran relevancia lo constituye la inserción en el genoma de la papa, de un gen procedente de un pez del ártico, que les confiere resistencia a las heladas. Hoy son de uso común las variedades resistentes a insectos masticadores. Esto como resultado de la inserción en el genoma de la planta de un gen de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*), que codifica la producción de una toxina que afecta a estos insectos al ingerir las hojas de dichas plantas. En ese mismo orden, se tienen variedades resistentes a herbicidas, o con características que facilitan el manejo post cosecha de los frutos, que mejoran la calidad del producto.
- ²⁷ Unas sesenta especies han sido manipuladas por técnicas de ingeniería genética. Entre 1987 y 1994 se realizaron en los Estados Unidos de América unas 2.000 pruebas de campo de plantas transgénicas en 36 especies cultivadas. De estas, un 42 por ciento estuvo relacionada con genes para mejorar la calidad del producto, 28 por ciento para genes de resistencia a herbicidas, 20 por ciento para resistencia a virus y 12 por ciento para genes de resistencia a insectos. Entre los casos más interesantes, destacan la soya y el algodón resistentes a herbicidas, algodón y maíz resistentes a insectos, papas de bajo contenido de agua que fríen mejor, tomates con mayor capacidad de duración en puestos de venta. Otra línea de gran interés es la producción de productos farmacéuticos y vacunas en especies tradicionalmente cultivadas con fines alimenticios (FAO 1997). Anualmente, se emiten gran cantidad de permisos para evaluar en el ambiente natural nuevas variedades obtenidas por transgénesis. Entre 1986 y 1995, se realizaron 3.647 pruebas de campo de variedades transgénicas de 56 especies distintas en 34 países (JAMES y KRATTIGER 1996).
- ²⁸ Recientemente, un equipo de investigación del Instituto Roslin de Edimburgo, Escocia, causó gran impacto al anunciar la clonación de la oveja Dolly, a partir de células adultas, luego de un largo proceso de investigación, que se inició con la clonación a partir de células embrionarias con núcleos transplantados (CAMPBELL *et al.* 1996). Aún cuando no se ha dado tanta publicidad al hecho, el siguiente paso dado por este equipo, la clonación de ovejas transgénicas, es igualmente trascendental, para lo cual les han transfe-

rido el gen de la proteína del factor IX humano, que promueve la coagulación de la sangre (SCHNIEKE *et al.* 1997). Esto abre una nueva vía para incorporar, en productos naturales, factores fundamentales para la solución de problemas en seres humanos.

- 29 El proceso de clonación en plantas es ya común y de mucha utilidad en preservar genotipos, de otra manera, inestables por su condición de segregantes en el proceso reproductivo sexual.
- 30 El concepto de biotecnologías apropiadas surge a finales de los años ochenta (IZQUIERDO 1989), como un recurso para intentar resolver el problema del desequilibrio entre los países en desarrollo, aportantes de diversidad biológica, y los países desarrollados, usufructuarios principales de los productos derivados de esta a través de la manipulación biotecnológica. Este concepto hace referencia a las biotecnologías dirigidas al logro de un desarrollo sostenible de la agricultura, mediante el uso de recursos genéticos transformados de modo que se tenga en cuenta la cultura y tecnología de la región hacia la cual están dirigidos (IZQUIERDO *et al.* 1995). En general, estas tecnologías serían del tipo que puede ser absorbido sin grandes o a ningún costo por agricultores de bajos recursos en los países en desarrollo. Ello implicaría el establecimiento de programas gubernamentales o de organismos internacionales sin fines de lucro que puedan satisfacer las necesidades detectadas para este sector. La tendencia del desarrollo actual de biotecnologías nuevas es contraria a estos planteamientos, ya que su fin es netamente lucrativo. Una de las grandes polémicas del momento gira alrededor de la lucha de los organismos defensores de los pequeños agricultores al oponerse al uso del gen «terminator» en las semillas de plantas transgénicas que se intentan comercializar. Este gen impediría la reutilización de la semilla producida en los campos comerciales por los agricultores que así lo hacían, ya que no tendrá capacidad germinativa. El agricultor estaría obligado a proveerse cada temporada de la semilla necesaria para establecer sus sembradíos (CROUCH 1998, RAFI 1998).
- 31 El uso de la biotecnología para transformar los recursos de la biodiversidad en productos farmacéuticos no escapa de la tendencia mercantilista (DE SOUZA-SILVA 1996). Prácticamente, todos los grandes laboratorios farmacéuticos participan en programas de bioprospección en búsqueda de nuevas sustancias con propiedades medicinales o mecanismos metabólicos que permitan llegar a la síntesis de ellas, en plantas, microorganismos, organismos marinos, insectos, artrópodos y otros seres vivos, incluidos los humanos (IMPERATO-MCGINLEY *et al.* 1974, PISTORIUS y WIJK 1993, CAPORALE y DERMODY 1996). Dentro de este gran espectro de búsqueda, pueden señalarse algunos ejemplos de resultados exitosos y de gran rentabilidad. El estudio de la secuencia genómica del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) llevó al descubrimiento de que era necesaria la producción de una proteína del tipo aspartil proteasa para asegurar la viabilidad del virus, lo cual fue comprobado al usar técnicas de ingeniería genética para demostrar que el VIH con la proteasa mutante no era viable (KOHL *et al.* 1988). Con ello, se inició todo un proceso de búsqueda, tanto en la naturaleza como a través de la química farmacéutica, de sustancias inhibitoras de esta proteína. Actualmente, se realizan pruebas generalizadas en humanos con inhibidores de dicha proteína para ver los resultados finales de alivio de la situación de pacientes con esta enfermedad (JAMES 1996). Otro caso interesante es el descubrimiento del papel que juega la conversión de testosterona en dihidrotestosterona, por medio de la D4-5 alfa reductasa, en el aumento del tamaño de la próstata (IMPERATO-MCGINLEY *et al.* 1974). Este descubrimiento se realizó estudiando casos de pseudohermafroditismo masculino en

República Dominicana, encontrándose que estos hombres, no padecen de afecciones de hiperplasia prostática y tienen un desarrollo normal de su virilidad. Este conocimiento llevó a la búsqueda, mediante la química de esteroides, de un inhibidor de dicha proteína, con resultados exitosos (CAPOREALE y DERMODY 1996). En el caso de las plantas, se han extraído 119 sustancias químicas puras de unas 90 especies, con uso medicinal. En un 74 por ciento de los casos su descubrimiento fue guiado por el conocimiento del uso tradicional de estas plantas con fines medicinales (DE SOUZA-SILVA 1996). En otras palabras, podemos decir que en este caso la prospección fue muy efectiva por el uso del acervo cultural de los países originadores de diversidad.

SITUACIÓN EN VENEZUELA

- ³² Venezuela, inmersa en la región latinoamericana, comparte espacio con otros países en el Arco caribeño, la Zona Andina y la Cuenca Amazónica. Adicionalmente, como característica peculiar, alrededor de un 50 por ciento de su territorio está ubicado sobre el basamento del Escudo Guayanés. Su variabilidad geográfica, climática y de substratos está estrechamente relacionada con su variedad biótica, siendo considerado entre los diez países más ricos en diversidad biológica del mundo y entre los seis países de la región latinoamericana con mayor variedad de recursos naturales (MARNR 1998).

PROSPECCIÓN, COLECCIÓN, CONSERVACIÓN Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

- ³³ En Venezuela, al igual que en el resto de la América Latina y el Caribe, la prospección de la biodiversidad en busca de plantas y animales útiles, se inicia con el descubrimiento. Esta actividad en forma organizada se intensifica a partir del siglo XVIII, con expediciones de botánicos europeos, que realizan una interesante labor de estudio de la flora venezolana. Sin embargo, en la mayoría de los casos los materiales colectados son conservados en herbarios y jardines botánicos de sus países de origen, no quedando muestras ni información disponibles en Venezuela. No es sino en el presente siglo cuando se da inicio a una actividad nacional sistemática de estudio y conservación de la flora y la fauna, con el establecimiento de herbarios, jardines botánicos y museos de fauna. Aparte de la flora en la cual se alcanza un desarrollo importante en la prospección y colección de materiales, en el caso de la fauna las aves y peces se constituyen en los grupos más estudiados (MARNR 1998).
- ³⁴ Las actividades de conservación de la diversidad biológica *in situ* se inician formalmente con la creación del primer parque nacional, el Parque Nacional «Henri Pittier», y luego alcanzan estatus oficial al crearse el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR 1998). Su evolución siguiente es la creación del sistema de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). Estas comprenden cuatro categorías, de acuerdo a la función que se les haya destinado: *a*) Parques y Monumentos Naturales, *b*) Zonas Protectoras, *c*) Reservas Naturales y *d*) Áreas de Manejo Integral de Recursos Naturales Renovables. El área cubierta por los ABRAE es de 65.710.552 ha.
- ³⁵ Los recursos genéticos, entendidos como: «Todo material vivo con unidades funcionales de herencia y con un valor actual o potencial», constituyen una porción muy importante de la diversidad biológica y junto con los recursos utilizados para derivar productos medicinales son los que mayor uso han tenido en beneficio de la humanidad.
- ³⁶ La prospección, colección, caracterización, conservación *ex situ* y evaluación de recursos genéticos vegetales, con fines de uso en el mejoramiento genético de plantas, se inicia

a mediados del siglo, con el establecimiento de las instituciones de enseñanza e investigación agrícola. El Ministerio de Agricultura y Cría a través de la institución hoy conocida como Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y la Universidad Central de Venezuela, a través de su Escuela de Agricultura y Zootecnia, hoy Facultad de Agronomía, son las instituciones pioneras en este aspecto. Más recientemente, se han incorporado otras instituciones, como el Centro Nacional de Conservación de Recursos Fitogenéticos, la Universidad del Zulia, la Universidad de Oriente, la Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, la Universidad de Los Andes (MARNR 1995, 1998, PÉREZ *et al.* 1998).

EVOLUCIÓN DEL MARCO LEGAL

- ³⁷ Venezuela ha sido uno de los países pioneros en la región en el establecimiento de un marco legal para la protección del ambiente y los recursos naturales. Están vigentes un conjunto de instrumentos legales orientados hacia la protección, conservación y administración de los recursos naturales y el ambiente. Entre ellos destacan la Ley del Ambiente, la Ley Orgánica de Ordenación del Territorio, la Ley Penal del Ambiente y la Ley sobre la Diversidad Biológica, actualmente en discusión. Adicionalmente, existen una serie de leyes en vigencia en los países de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), de la cual Venezuela forma parte, relacionadas con los derechos de propiedad industrial e intelectual, la protección a los derechos de quienes obtienen variedades vegetales y la regulación del acceso a los recursos genéticos de la biodiversidad. Venezuela es firmante del Convenio sobre la Diversidad Biológica y una serie de convenciones y protocolos en materia de biodiversidad. Uno de estos es el Tratado de Cooperación Amazónica, mediante el cual los países de la Cuenca Amazónica realizan acciones conjuntas destinadas a la preservación del medio ambiente y a normar la utilización racional de los recursos naturales compartidos por los ocho países en la Cuenca. Coincidentalmente, el 14 de diciembre de 1998, se firmó en Caracas un protocolo de enmienda para dar personalidad jurídica al acuerdo. Con ello se lograría una vigencia legal para realizar acciones conjuntas entre los países para el logro de los fines del acuerdo.
- ³⁸ Se encuentra en su fase de formulación y consulta un protocolo para normar la evaluación en el ambiente natural y la comercialización de organismos genéticamente modificados, con especial aplicación para el sector agrícola vegetal. Esta iniciativa es auspiciada por el Servicio Autónomo de Sanidad Agropecuaria (SASA) del Ministerio de Agricultura y Cría y el CONICIT. Esta última institución ha elaborado un Código de Bioética, destinado a orientar la investigación biotecnológica en el país en función de los principios de la ética y el respeto a la vida.

CAPACIDAD CIENTÍFICA PARA APROVECHAR LA BIODIVERSIDAD EN FUNCIÓN DEL DESARROLLO

- ³⁹ En Venezuela, el interés en la investigación biotecnológica se inicia en la década de los ochenta, con el establecimiento de la Comisión *ad hoc*, para estudiar las posibilidades del desarrollo biotecnológico en el país. Basándose en las recomendaciones de dicha comisión fue creada en 1984 la Comisión Nacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (CNIGB), encargada de auspiciar el desarrollo en tres áreas prioritarias, agricultura, salud e industria (CNIGB 1985). El siguiente paso importante fue el inicio, por parte del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT),

de un programa de financiamiento de investigación en cinco áreas consideradas clave para el desarrollo, informática, electrónica, química fina, nuevos materiales y biotecnología. El propósito del mismo era promover la creación y fortalecimiento de infraestructura y recursos humanos para la investigación y desarrollo en estas áreas (CONICIT 1990).

- ⁴⁰ Una evaluación reciente de la situación de la investigación biotecnológica en las áreas de agricultura, salud y petróleo concluye que, en general, en la década de los años noventa ha ocurrido un crecimiento en las tres áreas, aún cuando existen marcadas diferencias en los niveles alcanzados en cada una de ellas.
- ⁴¹ En el área agrícola, fundamentalmente, ha crecido el número de laboratorios de investigación en cultivo *in vitro* de órganos y tejidos, con fines de propagación y, en algunos casos, para la conservación *in vitro* de germoplasma. Sin embargo, el desarrollo en las tecnologías de avanzada, ingeniería genética, marcadores moleculares, ha sido muy escaso (JAFFÉ 1991, OTAIZA Y ARCIA 1997). De 40 laboratorios registrados en la base de datos del CONICIT, dedicados al área agrícola, apenas dos han utilizado exitosamente técnicas de caracterización genómica por medio de marcadores bioquímicos y moleculares y transformación genética de plantas, en una oportunidad, y para la producción animal, apenas se registran 4 laboratorios (CONICIT 1996).
- ⁴² En el área de la investigación biotecnológica, aplicada a los problemas de salud humana, existe un gran número de instituciones (41) realizando, en alguna forma, investigación en un sinnúmero de líneas (CNB 1998a). Sin embargo, en la base de datos del CONICIT, sobre laboratorios de investigación en biotecnología, sólo se registran quince centros organizados como unidades de investigación en el área (CONICIT 1996).
- ⁴³ La investigación en el área petrolera está muy ligada a los problemas ambientales causados por la explotación de estos hidrocarburos. Las líneas de investigación se refieren fundamentalmente a la solución de problemas de contaminación por vía de la bioremediación, al uso de microorganismos para facilitar la emulsificación de crudos pesados y la recuperación de estos en los yacimientos y la biodesulfuración de bitúmenes (CNB 1998b).
- ⁴⁴ Para las tres áreas, se informa que existen limitaciones serias de recursos humanos formados y de financiamiento para el mantenimiento al día de las técnicas en uso y la incorporación de nuevas.
- ⁴⁵ En todos los casos, los recursos de la biodiversidad son materia prima fundamental para el desarrollo de las investigaciones orientadas a la obtención de productos de utilidad pública. A su vez, las investigaciones, en estas áreas, contribuyen de manera importante al conocimiento de los elementos de la biodiversidad, su conservación y uso.

ACCIONES Y ASOCIACIONES ESTRATÉGICAS
NECESARIAS Y DESEABLES

- ⁴⁶ El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, organismo rector en la materia de biodiversidad, desarrolla en la actualidad la Estrategia Nacional de la Diversidad Biológica y el Plan de Acción para la ejecución de la misma. Con ello se pretende diseñar una política ambiental dirigida a auspiciar acciones que promuevan el conocimiento, la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos de la biodiversidad.

- 47 En lo referente al desarrollo futuro de la biotecnología en el país, la Comisión Nacional de Biotecnología ha elaborado una propuesta para el establecimiento del «Programa de Asociaciones Estratégicas para Proyectos de Biotecnología». Esto, dentro del marco de un «Plan de Inserción Económica y Social de la Biotecnología en Venezuela», diseñado por dicha comisión. Esta propuesta ha sido acogida favorablemente por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT). Con lo cual se persigue el establecimiento de asociaciones estratégicas entre los sectores académico, de investigación, usuarios y organismos de financiamiento, para la formulación y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo en aspectos de interés actual y uso potencial (CONICIT 1996).
- 48 Dentro de esta concepción de las asociaciones estratégicas para la investigación y desarrollo, es perfectamente factible pensar que el organismo rector de la materia de biodiversidad en el país, dentro de su Estrategia Nacional y Plan de Acción, auspicie el desarrollo de estas, con fines de obtener un mejor conocimiento del valor de los recursos que le corresponde administrar. Ello implicaría considerar, en la negociación de contratos de acceso con usuarios potenciales de productos de la biodiversidad, la existencia de instituciones nacionales de investigación y desarrollo que pueden interactuar con estos en la ejecución de los procesos de prospección y evaluación de los materiales de su interés. La mejor estrategia de un país en la defensa de sus recursos naturales, no consiste en prohibir el acceso a los mismos, sino en fortalecer sus capacidades para conocerlos, conservarlos, valorarlos y aprovecharlos sustentablemente en beneficio de la población.

REFERENCIAS

- BRACK, E.A. 1993. Biodiversidad, biotecnología y el desarrollo sustentable en la Amazonía, en *Taller Suramericano Convención de Biodiversidad* (ed. UICN-SUR), pp: 9-29. Quito, Ecuador.
- CAMPBELL, K.H.S., McWHIR, J., RITCHIE, W.A. y WILMUT, I. 1996. Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature* 380: 64-66.
- CAPORALE, L.H. y DERMODY, M.F. 1996. El descubrimiento de medicamentos y la diversidad biológica: Colaboraciones y riesgos en el descubrimiento de nuevos productos, en *Biodiversidad, Biotecnología y Desarrollo Sostenible en Salud y Agricultura: Conexiones Emergentes* (ed. OPS) pp: 83-101. Washington, DC.
- CNB. 1998a. *Estudio de la oferta potencial en biotecnología en el sector biomédico en Venezuela*. Informe preparado por la consultora Adriana Chiancone Castro, para la Comisión Nacional de Biotecnología (CNB). Caracas, Venezuela.
- CNB. 1998b. *Estudio de la oferta potencial en biotecnología en la industria petrolera y petroquímica nacional*. Informe preparado por la consultora María Victoria Canino, para la Comisión Nacional de Biotecnología (CNB). Caracas, Venezuela.
- CNIGB. 1985. *Comisión Nacional de Ingeniería Genética y Biotecnología. Informe*. Caracas, Venezuela.
- CONICIT. 1990. *Programa de Activación, Movilización y Modernización del Sector Científico y Tecnológico Nacional*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT)-Banco Interamericano de Desarrollo. VE-0054. *Exposición de Motivos*. Caracas, Venezuela.
- CONICIT. 1996. *Base de datos de laboratorios de biotecnología de Venezuela*. Caracas, Venezuela.
- CROUCH, M.L. 1998. *How the terminator terminates: An explanation from non-scientists of a remarkable patent for killing second generation seeds of crop plants. Occasional paper*. The Edmonds Institute, Edmonds, USA. (crouch@indiana.edu).

- ENGELMANN, F. 1991.
In vitro conservation of tropical plant germplasm—a review. *Euphytica* 57:227-243.
- FAO. 1994.
El estado mundial de la agricultura y la alimentación. FAO. Roma.
- FAO. 1995.
Revisión del Compromiso Internacionnal sobre los Recursos Fitogenéticos. Análisis de algunos aspectos técnicos, económicos y jurídicos para el examen de la Fase II: Acceso a los recursos fitogenéticos y Derechos del Agricultor. Comisión de Recursos Fitogenéticos. Tema 8, Sexta Reunión. CPGR-6/95/8 sup. (CPGR-EX1/94/5 sup).
- FAO. 1997.
Recent international developments of relevance to the draft code on conduct for plant biotechnology. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.
- FERREIRA, M.E., SAMPAIO, M.J.A., y SANTOS, M.M. 1996. Biodiversidad y biotecnología: aproximaciones al desarrollo sostenible, en *Biodiversidad, Biotecnología y Desarrollo Sostenible en Salud y Agricultura: Conexiones Emergentes* (OPS), pp: 102-113. Washington, DC.
- GENTRY, A. 1993.
Tropical forest biodiversity and the potential for new medicinal plants, en *Human Medicinal Agents from Plants* (eds.A.D. Kinghorn y M.F. Balandrin), pp: 13-24. American Chemical Society, Washington, USA.
- GODOY, R.A. y BAWA, K.S. 1993.
The economic value of sustainable harvest of plants and animals from the tropical forest: Assumptions, hypotheses and methods. *Economic Botany* 47:215-219.
- GONZÁLEZ, R.V. 1997a.
Metodología para el aprovechamiento económico de los recursos fitogenéticos, en *Biodiversidad: Estrategias y Oportunidades para el Siglo XXI* (ed. SELA), pp: 77-109. Caracas, Venezuela.
- GONZÁLEZ, R.V. 1997b. (En prensa)
Germoplasma vegetal: un bien común de uso restringido, en *Memorias del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria*. FUNDACITE ARAGUA. Maracay, 17-21 de nov. 1997.
- IMPERATO-MCGINLEY, J., GUERRERO, L., GAUTIER, T. y PETERSEN, R. 1974.
Steroid 5alpha-reductase deficiency in man: An inherited form of male pseudohermaphroditism. *Science* 186:1213-1215.
- IZQUIERDO, J. 1989.
Biotecnología apropiada. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- IZQUIERDO, J., CIAMPI, L. y GARCÍA, E. 1995. *Biotecnología apropiable: Racionalidad de su desarrollo y aplicación en América Latina y el Caribe*. FAO-REDBIO, Santiago de Chile.
- JAFFÉ, W.R. 1991.
La problemática del desarrollo de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe. Serie de Documentos de Programas, 23, IICA, Costa Rica.
- JAMES, J.S. 1996.
Protease inhibitors: Patient education a critical. *Aids Treatment News* 244:1-3.
- JAMES, C. y KRATTIGER, A.F. 1996.
Global review of the field testing and commercialization of transgenic plants, (1986-1995): The first decade of crop biotechnology. *isaa Briefs* 1 (Ithaca, NY.).
- KOHL, N.E., EMINI, E.A., SCHLEIF, W.A., DAVIS, L.J., HEIMBACH, J.C. y DIXON, R.A.F. 1988. Active human immunodeficiency virus protease is required for viral infectivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85:4686-4690.
- LANAUD, C. 1986.
Utilisation des marqueurs enzymatiques pour l'étude génétique du cacaoyer *Theobroma cacao* L. 1. Contrôle génétique et linkage de neuf marqueurs enzymatiques. *Café, cacao, thé* 30:259-270.
- LERCETEAU, E., CROUZILLAT, D. y PÉTIARD, V. 1993. Use of random polymorphism DNA (RAPD) and restriction fragment length polymorphism (RFLP) to evaluate genetic variability within the *Theobroma* genus, en *Internatinal workshop on conservation, characterization and utilization of cocoa for the 21st. Century*. pp: 332-344. Proceedings. Port Spain, Trinidad.
- MALAURIE, B., PUNGU, O., DUMONT, R. y TROUSLOT, M.F. 1993. The creation of an *in vitro* germplasm collection of yam (*Dioscorea* spp.) for genetic resources preservation. *Euphytica* 65:113-122.
- MALAURIE, B., TROUSLOT, M.F., BERTHAUD, J., BOUSALEM, M., PINEL, A. y DUBERN, J. 1998. Medium-term and long-term *in vitro* conservation and safe international exchange of yam (*Dioscorea* spp.) germplasm. *Electronic Journal of Biotechnology* 1 (3):18.

- MARNR. 1995.
Informe de Venezuela sobre Recursos Fitogenéticos. Caracas, Venezuela.
- MARNR. 1998.
Venezuela –Biodiversidad –Informe de País. Caracas, Venezuela.
- MOHAN, M., NAIR, S., BHAGWAT, A., KRISHNA, T.G., YANO, M., BHATIA, C.R. y SASAKI, T. 1997a. Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. *Mol. Breed.* 3:87-103.
- MOHAN, M., SATHYANARAYANAN, P. V., KUMAR, A., SRIVASTAVA, M.N. y NAIR, S. 1997b. Molecular mapping of a resistance specific PCR-based marker linked to a gall midge resistance gene (*Gm4t*), in rice. *Theor. Appl. Genet.* 95:777-782.
- OTAIZA-VÁSQUEZ, E. y ARCIA M., A. 1997. Plant biotechnology in Venezuela: A myth? A critical evaluation to determine its status and social impact. *Interciencia* 22:238-246.
 - PÉREZ, D., GUTIÉRREZ, M., MAZZANI, E., BARRETO, T., SEGOVIA, V. y MARÍN R., C. 1998. *Recursos fitogenéticos de Venezuela*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (Serie c, núm. 42). Maracay, Venezuela.
 - PISTORIUS, R. y VAN WIJK, J. 1993. Biodiversity prospecting: Commercializing genetic resources for export. *Biotechnology Development Monitor* 15:12-15.
 - PNUMA. 1993. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. FAO. CPER-93-INF 3.
 - RAFI (RURAL ADVANCEMENT FOUNDATION INTERNATIONAL). 1998. Terminator seeds rejected by global network of agriculture experts. News Release 2. www.rafi.org.
 - SCHNEIKE, A.E., KIND, A.J., RITCHIE, W.A., MYCOCK, K., SCOTT, A.R., RITCHIE, M., WILMUT, I., COLMAN, A. y CAMPBELL, K.H. 1997. Human factor ix transgenic sheep produced by transfer of nuclei from transfected fetal fibroblasts. *Science* 278:2130-2133.
 - SELA. 1995. *Situación del Manejo de los Recursos Genéticos Vegetales en América Latina y El Caribe*. Informe preparado para la Secretaría Permanente del Sistema Económico Latinoamericano (SELA) por el Consultor Ventura González Rosquel, para ser presentado al Fondo Fiduciario Pérez Guerrero. Proyecto INT-89-K-12-A-95-99.
 - SOUZA-SILVA., J. DE. 1996. De las plantas medicinales a los productos farmacéuticos naturales: La mercantilización de la naturaleza, en *Biodiversidad, Biotecnología y Desarrollo Sostenible en Salud y Agricultura: Conexiones Emergentes* (ed.ops) pp: 117-139. Washington, DC.
 - STONE, D., RINGWOOD, K. y VORHIES, F. 1997. *Business and biodiversity-A guide for the private sector*. WBCSD-IUCN.
 - TANKSLEY, S.D., YOUNG, N.D., PATERSON, A.H. y BONIERBALE, M.W. 1989. RFLP mapping in plant breeding: New tools for an old science. *Biotechnology* 7:257-264.