

LA POSIBILIDAD DE LO IMPOSIBLE

*Bioteksa y el
nuevo paradigma de la
nutrición vegetal*

Luis Alberto Lightbourn Rojas

Victoriano Garza Almanza

Daniel González García

Arsenio González García



OBSERVATORIO
AMBIENTAL



LA POSIBILIDAD DE LO IMPOSIBLE



*Bioteksa y el
nuevo paradigma de la
nutrición vegetal*

Dr. Luis Alberto Lightbourn Rojas
Director de Investigación, Innovación y
Desarrollo Tecnológico
Bioteksa, S.A.

Dr. Victoriano Garza Almanza
Director del Observatorio Ambiental
El Colegio de Chihuahua

Ing. Daniel González García
Director de Marketing y Comercialización
Bioteksa, S.A.

Ing. Arsenio González García
Administrador General de Bioteksa, S.A.



OBSERVATORIO
AMBIENTAL



Dedicatoria

A Ma del Rosario mi esposa, mi todo.
A mis hijos Cecyta, Ale, Carlos y
Beto, mi fortaleza e inspiración
A todos los que se atreven a ser
divergentes en el pensar y a ir mas
allá de los límites de la ciencia oficial
sin dejarse amedrentar por quienes
aparentan tener la última palabra de
todo y siguen sin resolver nada
A ti que te atreves a abrir tu mente a
nuevas realidades.

Luis Alberto

Este libro se lo dedico a mi padre y le
doy las gracias por una sola cosa: que
nunca nos dijo cómo es la vida, pero
siempre nos mostro el camino.
A mi esposa e hijos, por todo su
tiempo en este camino.

Daniel

A los que se esfuerzan por proteger
a la naturaleza y mejorar el ambiente
donde vivimos.

Victoriano

Todo el que haya comparado nuestro ambiente hispanoamericano y aun español, con la cultura intensa de los países anglosajones, se habrá dado cuenta de lo escasos que son entre nosotros los libros; no tanto por su carestía, sino por lo difícil que comúnmente se hace encontrarlos, entre otras causas porque no existen traducidos a nuestro idioma. De allí que para hacer en nuestra raza obra de verdadera cultura sea menester crear libros, ya sea escribiéndolos, ya sea editándolos, ya traduciéndolos.

José Vasconcelos

Plan de la obra

PRÓLOGO

- Redefiniendo lo imposible 11

PARTE 1

CAPÍTULO I. ALIMENTACIÓN EN UN MUNDO DINÁMICO

- Problemas globales 21
- La población mundial 23
- La revolución verde 26

CAPÍTULO II. DE LOS ABONOS A LOS FERTILIZANTES QUÍMICOS

- Aguas negras y biosólidos 32
- Fertilizantes inorgánicos..... 35
- Nutrientes en los fertilizantes..... 36

CAPÍTULO III. SUELOS Y FERTILIDAD

- Monocultivos 39
- Los fertilizantes 40
- Fertilizantes primarios 42
- Fertilizantes secundarios 43
- Micronutrientes 43
- La industria de los fertilizantes 44
- Expansión del comercio de los fertilizantes..... 46

CAPÍTULO IV. LOS FERTILIZANTES EN MÉXICO

- Producción en México..... 49
- Misión científica..... 51
- Empresas privadas y nacionalización 52
- TLC y debacle del monopolio nacional de fertilizantes 54
- Panorama de la industria de los fertilizantes en México..... 57

PARTE 2

CAPÍTULO V. DESARROLLO CIENTÍFICO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

- La generación del *baby boom* 61
- Ciencia y tecnología 64
- Búsqueda del conocimiento: ensayo-error 66
- La investigación como búsqueda organizada 69

CAPÍTULO VI. LA CIENCIA EN MÉXICO

- Primeros pasos 71
- Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica 72
- Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica 73
- Instituto Nacional de la Investigación Científica 74
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 76

CAPÍTULO VII. LOS INVESTIGADORES MEXICANOS

- Sistema Nacional de Investigadores 81
- Innovación y desarrollo 84
- Investigación civil 86

CAPÍTULO VIII. MODELO UNIVERSIDAD-EMPRESA EN LA INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO

- Tecnología y subdesarrollo 89
- La cultura del ¡mande usted! 92
- Universidad–Empresa 93

CAPÍTULO IX. EL MODELO DEL EMPRESARIO-INVESTIGADOR

- Empresario–Investigador 95
- El mexicano como Empresario–Investigador 98

PARTE 3

CAPÍTULO X. TECNOLOGÍA QUÍMICA

- Caja oscura 105
- De lo oscuro a lo transparente..... 108
- Caja transparente 110

CAPÍTULO XI. BIOTECNOLOGÍA

- Caja oscura: selección de especies para cruzar 113
- De lo oscuro a lo transparente: Gregor Mendel..... 115
- Caja transparente: organismos genéticamente modificados..... 117
- La nueva *revolución verde* 120
- ¿Son los organismos genéticamente modificados la respuesta a la alimentación del futuro? 122
- Biofortificantes edáficos..... 125

CAPÍTULO XII. REGULADORES DE CRECIMIENTO Y ANTIMICROBIANOS

- Reguladores de crecimiento..... 127
- Antimicrobianos 128

CAPÍTULO XIII. INMUNOLOGÍA VEGETAL

- Resistencia sistémica adquirida 131

PARTE 4

CAPÍTULO XIV. ALIMENTO PARA PLANTAS

- Comer para vivir 135
- Alimento para plantas 136
- Del laboratorio al mercado: cottage field industry 139
- Tercera generación de fertilizantes 142
- Hacia el Modelo Bioquímico Lightbourn 143

CAPÍTULO XV. NUTRIENTES COLOIDALES AMFÍFILOS

- Nanopartículas 145
- Nanonutrientes 147
- Fertilizantes químicos en crisis 149
- Nutrientes coloidales amfífilos y medio ambiente 149

CAPÍTULO XVI. PLANTAS SILVESTRES Y PLANTAS CULTIVADAS

- Ecosistemas y agroecosistemas 151

PARTE 3

CAPÍTULO XVII. HISTORIA NATURAL DE UNA IDEA

- El grano de semilla 157
- El árbol de la vida 158
- Filosofía empresarial 160
- Tecnología propia 162
- Medio ambiente 165

CAPÍTULO XVIII. BIOTEKSA: CRÓNICA DE UNA EMPRESA

- Los inicios de Bioteksa, años 2003 y 2004 167
- Empezando el negocio 168
- 2005: la lucha 169
- 2006: no nos envíes vendedores 170
- 2007: Bioteksa en consolidación 171
- 2008: más tecnología 172
- 2009: síndrome del negocio que crece 174
- 2010: ¿qué sigue? 176

CAPÍTULO XIX. ROMPIENDO PARADIGMAS:
EL MODELO BIOQUÍMICO LIGHTBOURN

• Las fuentes de los fertilizantes químicos.....	181
• Impacto de los fertilizantes en el suelo.....	182
• Fertilidad natural en extinción.....	183
• Nutrientes coloidales anfífilos.....	183
• Efecto de la nanotecnología en el suelo.....	184
• Modelo Bioquímico Lightbourn: respuesta rápida.....	184
• Las cosas cambian cuando ya no funcionan.....	185
• Avances.....	185

CAPÍTULO XX. BIOTEKSA E INTERNET

• Redes sociales.....	189
• Caso Paralelo 38.....	190
• Cultivar confianza.....	191
• Medios sociales en la web.....	191
• Tácticas de mercadotecnia en línea.....	192
• Colofón.....	193

CAPÍTULO XXI. EPILOGO: MAPIMI

• Bioteksa.....	195
• El crisol.....	196
• Nueva Vizcaya: siglos XVI–XVIII.....	196
• México independiente: siglos XIX–XX.....	198
• Un emblema: la gigante mexicana.....	198
Literatura citada.....	201

ANEXO. ARQUITECTURA CELULAR Y ARQUITECTURA MOLECULAR
COMO NUEVOS PARADIGMAS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

• Modelo Bioquímico Lightbourn.....	209
• Desarrollo.....	210
• Conclusión.....	210
Galería de fotos.....	213

Prólogo

Redefiniendo lo imposible

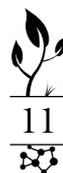
El desarrollo científico está marcado por cambios profundos, revolucionarios, que ocurren no sólo en el nivel del contenido de las teorías, sino también en el de las prácticas, los objetivos, las normas de procedimiento y los criterios de evaluación.

La estructura de las revoluciones científicas
Thomas Kuhn

Alimentar es proveer vida. El esfuerzo que todas las plantas y animales realizan para sobrevivir, tiene como particularidad elemental comer y no ser comido. La explicación es sencilla, y es que para reproducirse y perpetuar la especie los organismos tienen que salir adelante de todas las contingencias que se les presenten a lo largo de su existencia y sobrevivir. No todos los logran, pero los que sobreviven transmiten sus capacidades a su descendencia y mantienen la continuidad de su clase.

En la naturaleza salvaje, absolutamente todas las especies que ahí bullen están dotadas de múltiples competencias que les ayudan a mantenerse vivas y arraigadas al lugar que ocupan en el medio ambiente, ya sea sobre o dentro del agua, sobre o dentro de la tierra, y sobre o dentro de otros organismos vivos o en estado de descomposición. No hay especie indefensa, esto es un mito, por inermes que nos parezcan algunas plantas o animales todos están preparados para subsistir en su medio, reproducirse y dispersarse.

Con las especies domésticas, ya se trate de plantas o animales, no ocurre lo mismo que con sus parientes silvestres. La



presión de selección a la cual las sometió el capricho del hombre desde hace varios miles de años, y que aún hoy continua con mayor obstinación que nunca, las convirtió en organismos que lucen hermosos —aunque estén deformes—, o que trabajan demasiado —aunque sufran lo indecible—, o que producen copiosamente —aunque un alto porcentaje del beneficio se desperdicie—, todo a conveniencia nuestra. Sin embargo, estas supuestas virtudes que las especies domésticas tienen a los ojos del hombre han venido a estropear sus habilidades de sobrevivencia —ya fueran congénitas o aprendidas— en medios hostiles.

Es decir, el hombre ha sido y es el factor esencial que permite a una especie domesticada comer y vivir bajo protección, aunque esta denominada protección sea más bien equiparable al esclavismo, para cumplir los propósitos de quien las cría o las cultiva.

De entre todas las especies que el hombre ha amaestrado y sometido a su control, las plantas que cultiva masivamente son tal vez las que mayores cuidados demandan. Pues para que su simiente caiga en tierra fértil, nazca, crezca, madure y se reproduzca, miles de otras especies deben ser eliminadas de amplias extensiones de terreno mejor conocidas como zonas agrícolas.

La atención que se les brinda a estos cultivos es exhaustiva, cuidando que no les falte agua, alimento, iluminación adecuada, protección contra plagas y fenómenos climáticos. Todo es importante, pero el secreto para que las plantas de cultivo manifiesten con mayor fuerza el perfil genético que el experto en cruces de variedades o el genetista que modifica el genoma han inducido en ellas, es la alimentación.

Por décadas se ha pensado, hasta la fecha, que la alimentación de plantas cultivadas mediante la aplicación de fertilizantes al suelo es capítulo cerrado, y que el nuevo capítulo para la súper producción agrícola tiene que venir de la genética. Como que ya no hay nada que hacer en materia de fertilizantes o alimentos vegetales. Sin embargo, como lo han podido constatar los tecnólogos que han diseñado y desarrollado especies vegetales genéticamente modificadas, en el escritorio y en el



laboratorio el mapa genético adulterado por los científicos dice una cosa, pero en la parcela experimental dice otra cosa.

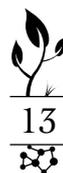
Con esto quiero decir que lo bonito que promete ser en la teoría y en las pruebas de laboratorio el organismo genéticamente modificado, en los ensayos de campo bajo condiciones controladas los resultados muestran otra cosa diferente, y lo que enseñan es que el genoma no se puede expresar tal y como lo planearon sus creadores. No todo consiste en trazar y calcular correctamente las cosas en el papel o la computadora, la expresividad cualitativa de las especies va más allá de considerar sólo a un puñado de indicadores, cuando en la realidad son miles los factores que inciden en el desarrollo de las especies.

Lejos de que los organismos genéticamente modificados sean la presunta amenaza que muchas personas piensan que son, específicamente en el caso de las plantas, lo cierto es que, al ser cultivados en el campo, normalmente no reflejan más allá de un 25 % del potencial genético que alteraron o insertaron en su genoma.

Los tecnólogos han cuidado todos los factores biológicos, químicos y físicos conocidos, y los han aplicado a nivel experimental para hacer que la especie modificada se convierta en lo que en el papel y en los genes son: unos organismos súper fuertes, súper productivos, súper resistentes y súper dóciles.

¿Y a qué obedece que no ocurra esto tal y como se proyectó, no sólo con las especies modificadas, sino también con las variedades mejoradas por selección y cruza al estilo mendeliano?

A que el modelo de alimentación vegetal está concebido desde sus orígenes para fertilizar los suelos para que de ahí las plantas obtengan los elementos necesarios para vivir. Como alguien una notó y vez dijo: los fertilizantes no están hechos para que vayan a las plantas, sino para que las plantas vayan a ellos. Uno se preguntará, ¿y qué no sucede así en la naturaleza? Claro que sí, pero por lo mismo no tenemos que repetir el esquema si lo podemos revertir, o sea, que el alimento vaya a las plantas. Lo esperado es que esta forma de alimentación dirigida sería mucho más económica, rendidora y de menor impacto ambiental.



El modelo fertilizantero, como le denomino, que comenzó a utilizarse universalmente desde hace más de un siglo, ha sido muy útil para la humanidad, de eso no hay duda, pero no funciona correctamente porque obliga a la planta a realizar un tremendo esfuerzo para arrancarle al suelo las sustancias químicas nutricionales que ahí depositó el agricultor porque, al mismo tiempo, por causas fisicoquímicas y microbiológicas, el propio suelo está reteniéndolas y/o expulsándolas del sistema.

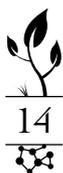
Aunado a esto, algunos compuestos químicos que se utilizan como vehículo para suministrar los fertilizantes a los cultivos, interactúan con el suelo y sus microhabitantes —llámense bacterias, hongos, protozoarios, etc.— formando diferentes nuevos compuestos, lo que hará aún más difícil la tarea de alimentación para las plantas.

Grosso modo, esto ha traído como consecuencia que se apliquen a las áreas de cultivo más fertilizantes de lo que las plantas necesitan, y, por lo tanto, propiciado un mayor gasto y un incalculable impacto ambiental al suelo, a los microorganismos, a los cuerpos de agua superficiales y profundos, y, como se ha reconocido en los últimos años, al clima global. Tan desmedido es el sobreuso de fertilizantes por los agricultores que se calcula que cuando menos dos terceras partes de estos materiales se desperdician cada vez que se aplican al campo.

La solución a la nutrición imperfecta y a sus efectos sobre las plantas que a veces provoca el esquema tradicional de fertilización, es propuesta por el Dr. Luis Alberto Lightbourn Rojas, investigador y tecnólogo mexicano especializado en nutrición vegetal, mediante un arrojado cambio de paradigma.

El Dr. Lightbourn Rojas no habla de fertilizar el suelo, ni tampoco al campo de cultivo en producción, sino a los individuos, a las plantas en lo particular. Y cuando habla de plantas no lo hace pensando en las raíces, ni siquiera en las células, sino en los procesos bioquímicos que ocurren a nivel molecular y energético en los diferentes tejidos y órganos de las plantas.

Este investigador se dio cuenta que los fertilizantes químicos aplicados a los suelos iban en un estado de partícula sólida tal que, por su enorme tamaño, presentaba otro nuevo reto



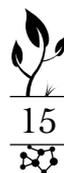
a la planta, pues debía separar e introducir en su sistema los elementos nutricionales necesarios.

Para ampliar un poco la idea, valga la siguiente analogía: no es lo mismo sentar a un bebé en su silla y poner a su alcance los botes de leche en polvo o líquida para que por sí mismo haga el esfuerzo de abrirlos y alimentarse, que recostarlo sobre el regazo de la madre para que por instinto busque el pecho y amamante. Pero otra cosa más, ni la leche industrial en polvo ni líquida se comparan con el poder nutritivo de la leche o calostro que le proporciona el pecho de la madre.

Luego, ¿dónde está el quid de la nutrición vegetal? En que los fertilizantes químicos comunes, por más que se les muele, triture o se les diluya en agua, siempre estarán conformados por partículas del tamaño de decenas o centenas de micras. El tamaño micrométrico (partículas del tamaño 1×10^{-6}) siempre será demasiado grande para las células de las plantas que, por lo demás, no fagocitan o tragan a las partículas como algunos todavía creen. Y de aquí a que esos pedruscos se reduzcan en el suelo al tamaño idóneo para que las plantas puedan introducir los nutrientes a sus sistemas, habrán de suceder varios fenómenos. Y durante el tiempo en que ocurren los procesos de captación de los nutrientes, mucho del material fertilizante se habrá perdido. Entonces, al no estar en posibilidad las plantas de obtener todo el material necesario, sus mecanismos fisiológicos darán prioridad a algunos crecimientos y maduraciones de tejidos u órganos sobre otros.

Debido a esta sutil subalimentación obligada por causas externas, digámosle así para tener un poco más claro el concepto, los organismos genéticamente modificados no manifiestan o explotan, literalmente hablando, todo el potencial genético que les insertaron sus creadores. Cabe decir que con las especies domésticas, que históricamente han sufrido cambios y mejoras por la selección del hombre, sucede algo parecido pero en menor escala.

¿Podría cambiarse esta situación? Es decir, ¿lograr que las plantas aprovechen mejor los alimentos que el agricultor dispone para ellas en el suelo y evitar que se desperdicien grandes cantidades? ¿Cómo hacer para disminuir el tamaño de las par-



tículas nutritivas para que, como en el ejemplo de la alimentación del bebé en brazos de su madre, literalmente las plantas se amamanten del suelo —que el alimento vaya a ellas— y, como el bebé, crezcan sanas, vigorosas y con fuertes defensas que las proteja de enfermedades?

Lightbourn Rojas encontró la solución mediante el diseño de coloides. No cualquier tipo de coloides, sino unos especiales, denominados por él coloides anfífilos —que escuetamente los define como diasteromeros de los anfífilos— que pueden enganchar a las moléculas de los materiales nutricios, trasladarlas desde el medio externo que sustenta la planta, ya sea suelo u otra clase de sustrato, y conducir las exactamente hasta los niveles intracelulares de las células de los tejidos y órganos donde la planta los necesite, en un modelo donde considera vital la interfase que se da entre las membranas celulares y los productos nutricios; o bien, y esto es lo verdaderamente asombroso, conducirlos en formas y cantidades necesarias hasta donde el agricultor requiera colocarlos para acelerar o desacelerar procesos vegetativos o productivos.

A través de la bionanotecnología, o mejor dicho, como explica Lightbourn Rojas, mediante la bionanofemtotecnología o tecnología BNF, porque su bioingeniería trabaja a nivel nano (partículas del tamaño 1×10^{-9}) y femto (1×10^{-15}), logró crear y diseñar nutrientes vegetales miles de veces más pequeños que la partícula de fertilizantes químicos más diminuta que haya en el mercado.

Estos inéditos productos propiciaron un nuevo esquema de nutrición vegetal controlada y dirigida a los puntos de necesidad, que rompe con todos los esquemas teóricos y patrones establecidos por la fisiología y por la práctica de la nutrición



vegetal por lo que, a partir de la coloidización anfífila de los nutrientes vegetales, las consabidas técnicas y reglas de aplicación de fertilizantes químicos y de abonos orgánicos dejan de ser útiles.

Pero al principio no era suficiente el haber desarrollado todo un fundamentum teórico bioquímico y matemático, perfeccionado una biotecnología, diseñado moléculas, y evaluado in silico sus modelos; Lightbourn Rojas necesitaba algo que Guillermo González Camarena, inventor de uno de los arquetipos de la televisión a color, nunca tuvo: un mecenas; es decir, un inversionista que entendiera lo que los nutrientes coloidales anfífilos potencialmente representaban para la producción agrícola regional y más allá de la frontera, y que arriesgara apostarle a un nuevo concepto agrotecnológico.

Fue así como Don Arsenio González Colín padre, inmigrante español asentado en Torreón, Coahuila, experimentado agricultor y fruticultor en Jiménez, Chihuahua, junto con sus hijos Arsenio y Daniel, decidió apoyar el inspirado proyecto de Lightbourn Rojas que a finales del año 2003 dio origen a Bioteksa.

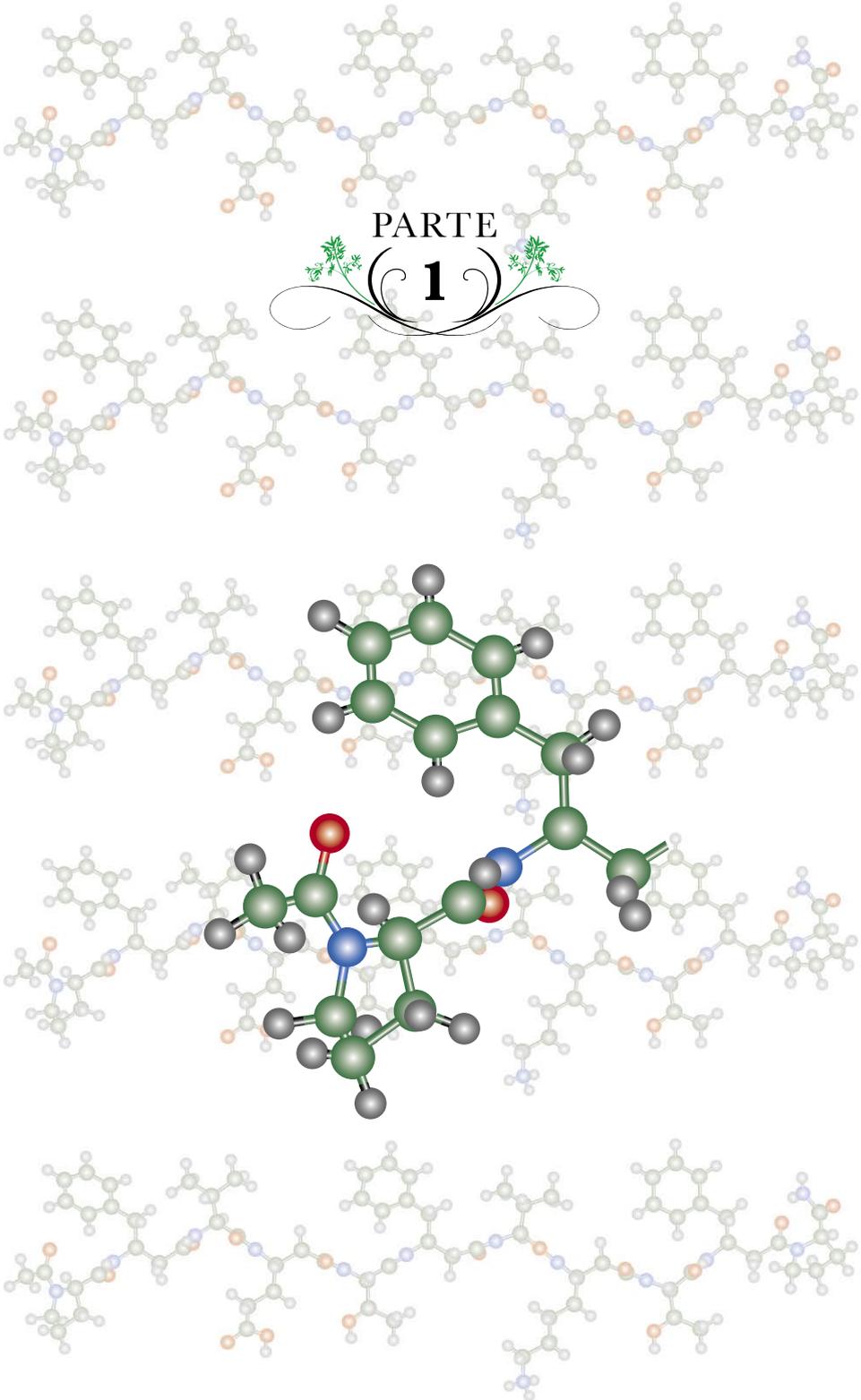
Sobre esto y más trata precisamente este libro, de cómo una idea se convirtió en un montón de fórmulas y ecuaciones, de qué manera tomaron vida en el laboratorio, de qué forma funcionaron en el campo, y de cómo lograron elevar la calidad y la cantidad de una amplia gama de productos agrícolas hasta cruzar las barreras de la exportación agrícola hacia Estados Unidos y Europa.

Victoriano Garza Almanza
Ciudad Juárez, Chihuahua.
Octubre del 2010.



PARTE

1



Alimentación en un mundo dinámico

Problemas globales

El tercer milenio aguarda a la humanidad el reto más difícil de su existencia: la sobrevivencia misma de la especie. El hombre apenas comienza esta era y los augurios de lo que posiblemente sobrevendrá en los próximos años, muy pronto a decir verdad, es preocupante. No se trata de lo que dicen las profecías ni de los presagios de los agoreros, sino de lo que una inacabable lista de situaciones, perfectamente identificadas, medidas y evaluadas por los científicos, dan lugar a una serie de pronósticos sobre los posibles escenarios de nuestro próximo futuro.

¿Cuáles son esas situaciones? se preguntará. Ninguna que usted no haya escuchado antes y a las que quizá prestó poca atención en su momento. Pero también otras que normalmente no se mencionan donde vivimos porque de acuerdo a nuestra forma de vida, todavía consideramos son imposible que nos sucedan a nosotros.

Entre las situaciones más conocidas y que ponen en riesgo nuestra existencia, por mencionar sólo algunas, están: una conflagración mundial que recurra al uso de las bombas nucleares; situación latente desde la creación de las primeras bombas atómicas y de su uso contra el mismo hombre en Hiroshima y Nagasaki en 1945, pero aun así, no tomamos en serio este peligro. Otra es el potencial empleo de armas biológicas por terroristas, como la viruela o enfermedades creadas con dos o más agentes patógenos, como la supuesta combinación de ébola y viruela, que en caso de ser real dicha combinación y



de provocar su exposición a los humanos, en pocas semanas quedaría eliminada más de la mitad de la población mundial; situación por demás grave, pero que al parecer ni siquiera nos preocupa. Otra más, es la contaminación ambiental antropogénica que está corroyendo el ambiente físico y biológico, a la par que va disminuyendo los recursos, capacidades y vida del planeta. Sabemos de este problema porque día a día los medios nos bombardean con notas sobre lo que pasa localmente o en otros lugares del mundo y sin embargo, lo vemos como algo ajeno a nuestra cotidianidad.

Asimismo, seguido escuchamos historias sobre el constante aumento de la población mundial y tampoco escuchamos realmente lo que se dice. Por donde quiera que vayamos, advertimos como una sombra de la sociedad la presencia de la pobreza entre los hombres, como si fuera una necesidad para la existencia de la misma especie; la toleramos, la aceptamos, la rechazamos o nos es indiferente. Y esto en parte, es consecuencia de la falta de educación, de la distribución inequitativa de los recursos, de las diferencias étnicas y religiosas, de género, edad y del medio en que viven, entre otras tantas.

Pero hay algo especialmente preocupante que no tomamos en cuenta, y es el hecho de que de una u otra forma todo lo que hacemos, para bien o para mal, está inextricablemente conectado. Absolutamente cada cosa que hay sobre la tierra: la vida y el medio que la contiene están enteramente unidos en un todo. Si en un lado hacemos presión, en otra parte se sentirá el efecto.

El hombre está ejerciendo presión constantemente donde quiera que se encuentre, cualquiera que sea su raza, credo, nación, oficio o profesión. La interacción del hombre con su entorno va más allá de la mera convivencia y sobrevivencia; su deseo innato de aprender y de conocer, de someter y mandar, de poseer y disfrutar, de planear y construir, hacen de él una entidad viviente única y plenamente diferente del resto de los organismos que habitan el planeta.

Esta situación lo ha hecho erigirse como la especie suprema que se arroga el derecho de afirmar que lo que le rodea le pertenece, y por lo tanto, que puede hacer lo que mejor le con-

venga con lo que hay bajo sus pies o ante su mirada. Durante siglos no se ha puesto freno a sus propios delirios de grandeza y se ha arrastrado a la humanidad entera a una posición de vulnerabilidad que pone en peligro la existencia misma de la especie.

Probablemente, el más inminente de los peligros que enfrentan en este momento las naciones del mundo es el de la hambruna. A muchos podrá parecerles absurdo o quizás ingenuo dada la abundancia de cereales, frutos y hortalizas que actualmente generan los campos y que desbordan los mercados y las mesas. Pero ésto no ocurre en todos los campos, ni en todos los mercados, ni en todas las mesas del mundo, como tampoco en todas las naciones.

El fantasma del hambre jamás se ha desterrado, recorre los suelos más raquíuticos y los pueblos más pobres. Millones de personas, en su mayoría niños, han padecido esta calamidad a lo largo de todos los tiempos y la época actual no es la excepción. El hambre que sufren millones de personas en estos mismos momentos se debe principalmente a tres factores:

1. Al hecho de que en los lugares afectados no se producen suficientes alimentos para sus pobladores.
2. A la falta de recursos económicos que impide adquirir e importar alimentos de aquellos sitios donde se producen.
3. A que se privilegian los cultivos de exportación en detrimento de los cultivos básicos que alimentan al pueblo.

Para agravar esta situación, la población mundial continúa acrecentando sus números y poniendo en gran riesgo a las generaciones futuras.

La población mundial

A lo largo de la historia, el incremento de la población en un pueblo o en una nación ha sido visto con buenos ojos por sus líderes, ya que forma parte del éxito de sus políticas, poder y liderato. En algunas naciones europeas cuya población nativa ha decrecido por una u otra causa, se fomentan la procreación y el nacimiento de nuevos ciudadanos, e incluso, se conceden a



los padres ciertos beneficios por encima de quienes optan por no reproducirse.

Sin embargo, independientemente de en que país se esté y que tan reducido sea el número de sus habitantes, en términos generales la población mundial está en constante aumento y muy por encima de lo que el planeta puede soportar, debido a que son muchos más los que nacen que los que mueren, acumulándose así una cantidad de seres humanos exorbitante.

¿Qué significa esto? Se preguntará. Pues bien, los estudiosos de la ecología de las poblaciones humanas consideran que para mantener el equilibrio del planeta y la tierra en su estado natural sin necesidad de recurrir a la ayuda de la ciencia y la tecnología, el número de pobladores no debe exceder los 450 millones. Sin embargo, esa cantidad de habitantes se alcanzó alrededor del año 1500 de nuestra era.

Actualmente, en el año 2010, la población mundial está a punto de alcanzar los 7,000 millones de habitantes, es decir, 15.5 más veces de lo que se ha señalado como la cifra ecológica ideal. Incluso, parece irreal que en poco más de 500 años la humanidad se haya multiplicado a sí misma tantas veces.

Actualmente, esa cantidad de habitantes se alcanzó alrededor del año 1500 de nuestra era.

¿A qué se debe el desaforado crecimiento de la población humana? Primero, el origen del pensamiento científico pragmático baconiano que surgió alrededor del año 1600, trajo como consecuencia la idea de que el conocimiento no debía servir únicamente para adornar a los sabios y entretener a los convidados en las tertulias, sino que podía utilizarse para resolver los problemas de la humanidad y para explotar y transformar la naturaleza en beneficio propio. Esta creencia propició un gran cambio en la forma de hacer las cosas y de mejorar la vida de las personas.

El pensamiento pragmático dio cauce a la denominada revolución industrial que, a caballo, surgió entre los siglos XVIII y XIX. Se calcula que alrededor de 1822 la población del planeta alcanzó los primeros mil millones de habitantes. La



Al término del año 2010, la población de México y Estados Unidos en su conjunto será de aproximadamente 450 millones de habitantes



era de la tecnología industrial surgió con un enorme ímpetu y arrastró consigo en su entusiasmo al quehacer científico.

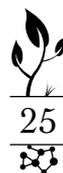
La tecnificación de la agricultura, donde el trabajo manual dejó su lugar al trabajo mecánico, también fue parte de la revolución industrial y tuvo sus orígenes en Inglaterra. Fue un cambio abrupto en la forma de hacer las cosas en diversos campos de la industria que multiplicó la oferta de productos. Los adelantos en las técnicas agrícolas propiciaron un mayor abasto de alimentos.

En esta etapa la investigación científica se tornó cada vez más pragmática. Ya no se investigaba únicamente por investigar, es decir, por el mero gusto de saber, sino que a partir de ese momento se buscaba conocer mejor los problemas del hombre para tratar de resolverlos. La medicina, por ejemplo, se convirtió en una disciplina más científica y, asociada al saber de la química que estaba evolucionando con rapidez, avanzó en el tratamiento de enfermedades hasta ese momento incurables y aumentó las expectativas de vida de millones de individuos.

La agricultura tecnificada y la medicina científica son tal vez dos de las más importantes causas del primer boom poblacional que se dio entre 1822 y 1927, cuando la población mundial pasó de 1,000 a 2,000 millones de habitantes. Pero la exitosa forma de utilizar el conocimiento científico para saber y para innovar no tuvo reposo, siguió imparable y continua haciéndolo hasta el día de hoy.

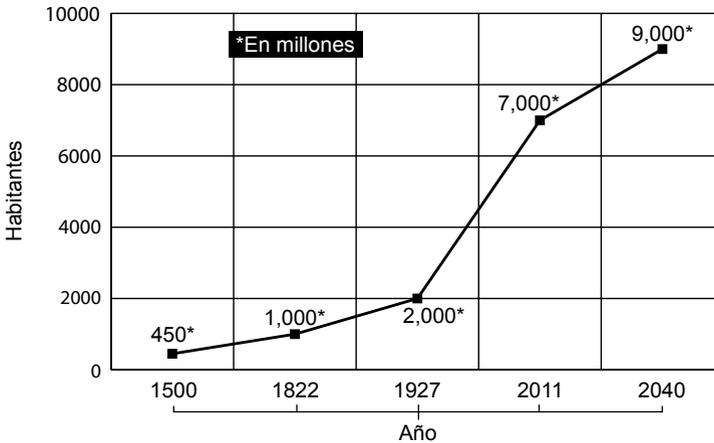
El poblamiento del planeta no tuvo barreras. Las epidemias, guerras y hambrunas no detuvieron su crecimiento. Entre el año 1927, cuando se alcanzaron los 2,000 millones de habitantes y el año 2011, cuando se calcula habrá en el planeta 7,000 millones _es decir, en tan sólo 84 años_, el planeta habrá acumulado 5,000 millones más de habitantes. Se proyecta que para el año 2024 habrá 8,000 millones de personas y que para el año 2040 su número habrá incrementado a 9,000 millones (Figura 1.1).

Es decir, en menos de una generación habrá 2,000 millones de personas más, misma cantidad que le tomó a la humanidad millones de años, desde el origen del hombre hasta el año 1927 de nuestra era.



El aumento incontrolado de la población humana representa un verdadero problema, tanto para sí misma como para el ambiente que la sustenta. El mayor reto que tiene ahora el hombre es alimentar a tanta gente.

Fig. 1.1. Crecimiento poblacional de la humanidad



La revolución verde

En 1940, Henry Wallace, quien había sido secretario de agricultura de Estados Unidos en la década de los años treinta, fue nombrado por el presidente Roosevelt embajador extraordinario para representarlo en la ceremonia de toma de posesión del general Manuel Ávila Camacho como presidente de México. Wallace viajó por tierra desde la ciudad de Washington hasta la ciudad de México. Como hablaba con fluidez el español, durante el trayecto por carretera pudo observar el campo mexicano y conversar con los campesinos. En aquel entonces la mayor parte de los caminos del país eran de terracería. Después de haber cumplido el propósito de su viaje, Wallace se trasladó a los alrededores de la ciudad de México para realizar una inspección más minuciosa sobre los cultivos de maíz y frijol.

No contento con eso, según Hesser, biógrafo de Norman Borlaug, Wallace conversó con varios funcionarios mexicanos, entre ellos, el ex presidente Lázaro Cárdenas y el inge-

niero Marte R. Gómez, Secretario de Agricultura en aquel momento, así como con varios investigadores de la Escuela de Agricultura de Chapingo, ya que lo observado en los campos mexicanos en más de 2,500 kilómetros de recorrido, lo dejó sorprendido. A pesar de la Reforma Agraria, la producción per cápita de alimento iba en descenso. De regreso a Washington, notificó sus observaciones y advirtió que estaba por suceder una catástrofe en el vecino país del sur. Más de 80% de los mexicanos vivían en área rural y el alimento que generaban sus campos era insuficiente para alimentarse. Se avizoraba una gran hambruna.

En aquel momento Estados Unidos estaba en alerta por el clima mundial de guerra, lo cual hacía imposible pensar en una propuesta de apoyo financiero para México. Esto motivó un


*Conocer los
hechos antes de
entrar en acción.*

Instituto Los ejecutivos de dicho instituto analizaron las peticiones y decidieron enviar a un equipo especializado para conocer más de cerca lo que sucedía en México.

La misión, encabezada por el profesor Stakman de la Universidad de Minnesota, recorrió 16 estados de la república, es decir, la mitad del territorio mexicano. Después de evaluar la situación del país, el grupo de científicos recomendó un plan de acción que comprendía la identificación y mejora de algunas variedades de maíz, trigo y frijol, entre otras especies, mejorar el uso del suelo e implementar el manejo de cultivos. En 1943, Norman Borlaug se unió al equipo que entonces era liderado por George Harrar. La misión sentó su base de trabajo en la Escuela de Agricultura de Chapingo. Los primeros hallazgos del equipo fueron sorprendentes: las tierras estaban agotadas y la mayoría de los campesinos ignoraban la existencia o el uso de los fertilizantes.

En los años siguientes y hasta principios de la década de los años cincuenta, Borlaug se dedicó a la cruce de variedades



de trigo resistentes a la roya de este alimento y a trabajar de cerca con productores en el Valle del Yaqui. Los agricultores se dieron cuenta de la importancia de la investigación agrícola que les redituaba no sólo en conocimiento acerca de los problemas de sus campos, sino en nuevas prácticas y tecnologías y, en consecuencia, en inversiones más productivas.

Borlaug logró aumentar la producción de los campos mexicanos y eliminar el fantasma de la hambruna gracias a las variedades de grano que creó. Lo mismo hizo en India y Pakistán, a donde se trasladó tiempo después para continuar su estrategia de trabajo con variedades híbridas de otros cereales, como el arroz. Sin embargo, sus detractores afirman que el gran éxito de Borlaug se debió al uso de otros componentes básicos de la agricultura que en esos momentos estaban surgiendo a nivel mundial: insecticidas, fungicidas y herbicidas químicos sintéticos. Esta aseveración no deja de tener bases, pues justo después de la Segunda Guerra Mundial salieron al mercado estos productos, muchos de los cuales fueron sintetizados en laboratorios nazis o aliados. Además, se introdujo el uso y manejo de fertilizantes de los que hasta entonces poco se sabía en México.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el sistema agronómico internacional había acusado los efectos de la lucha global y la producción del campo había sufrido una merma. La hambruna afloró y comenzó a extenderse por Europa, Latinoamérica, Asia y África. En ese entonces, Norman Borlaug, investigador agrícola preocupado por alimentar a los más desfavorecidos, desarrolló e introdujo el uso de las semillas híbridas y de nuevas prácticas en la agricultura de México, India, Pakistán y muchos otros países, rescatando de la muerte por hambre o desnutrición a cientos de millones de personas. A ese enorme suceso en la agricultura se le denominó la revolución verde.

Pero tampoco sería justo pensarlo únicamente de esta manera, pues se debe reconocer que Borlaug sí mejoró una amplia variedad de cereales. Sus diarios de campo dan nota sobre las decenas o cientos de miles de cruces que realizó en los lugares donde estuvo colaborando durante más de treinta años. Su filosofía se ve reflejada en una nota que recoge Hesser en su biografía, de un momento en el que dirige la palabra a un grupo de estudiantes de agronomía de Chapingo que lo visitaban en uno de sus campos experimentales:

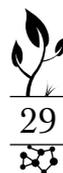
Aquí hay millones de plantas de trigo. Cada espiga producirá unas dos docenas de granos de trigo, y no habrá una semilla en miles de millones que sea totalmente aceptable para lo que necesitamos en México. La perfección es una mariposa que los académicos cazan y nunca atrapan. Si vamos en pos del trigo ideal para México, sus campesinos irán a la hambruna por largo tiempo. Tenemos que hacer lo mejor que podamos con lo que tenemos.

Lo paradójico del caso es que siendo los mexicanos una sociedad eminentemente consumidora de maíz, el equipo científico de la Fundación Rockefeller y colaboradores mexicanos de la Secretaría de Agricultura, se concentraron en el desarrollo mendeliano de híbridos de trigo, mientras que el necesitado programa de investigación del maíz nunca llegó.



El “milagro verde” en México era en buena parte fruto de apoyos desmedidos del gobierno a un grupo relativamente pequeño de productores vía créditos, agua, semillas, fertilizantes y otros insumos y apoyos de los que carecían las mayorías rurales.

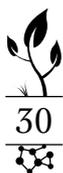
Dr. Edmundo Flores
Economista Agrícola
Director de CONACYT, 1976-1982



En este momento, cuando el amenazador espectro de una hambruna universal que por lo menos aquejaría a dos de cada tres habitantes del planeta en los próximos años, donde el pos-modelo de la revolución verde de Norman Borlaug —basado en una agricultura sustentada en el uso de semillas mejoradas, mendelianamente y/o genéticamente; sistemas de riego tecnificados, ambientes controlados, manejo de suelos, fertilizantes de alto impacto, equipo agrícola sofisticado, insecticidas, herbicidas y fungicidas de última generación; y sistemas de manejo automatizados, entre otros— aparentemente ya agotó sus posibilidades, surgen los clamores de incontables expertos en todo el planeta clamando por una segunda revolución verde.

La pregunta es, ¿cómo es posible que con tantos adelantos en la ciencia y la tecnología global los científicos, los tecnólogos y los experimentados agricultores no vislumbren tan siquiera un rayo de esperanza?

Sobre ésto trata este libro, de cómo en un contexto extremadamente complicado para la agricultura mundial, en un lugar desértico y apartado de los centros de desarrollo más importantes del país, se originó una idea que se convirtió en una fábrica particular para la producción de nutrientes vegetales para el consumo propio; y de cómo el investigador civil y los dos inversionistas que la crearon, se convirtieron en empresarios internacionales. También, se muestra cómo y porqué esta empresa llamada Bioteksa, puede tener la respuesta que el mundo espera.



De los abonos a los fertilizantes químicos

La palabra *fertilizante* significa aquello que provee las condiciones a un medio para producir vida; en tal sentido, los materiales empleados en la agricultura fueron denominados con este término, ya que quienes los utilizaban observaron que al aplicarlos al suelo mejoraban las propiedades de éste y lograban que la vida vegetal emergiera con mayor fortaleza y energía, además de que sus frutos eran más numerosos y suculentos.

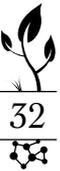
Desde el origen mismo de la agricultura, mismo que se remonta a aproximadamente 10 mil años atrás, los primeros agricultores se dieron cuenta de que algunos terrenos eran más fértiles que otros; también notaron que cuando los suelos fértiles eran utilizados con demasiada frecuencia, su capacidad para la producción de plantas disminuía. Igualmente se percataron de que cuando esas tierras eran abonadas con los restos de los animales sacrificados para su comida, las cenizas de sus hogueras, el estiércol del ganado o con otros materiales similares, el suelo regeneraba su capacidad de producir.

Por eso, en la época prehispánica, los antiguos nahuas adoraban a la diosa Tlazolteotl, deidad de la fertilidad y de la basura que alimentaba los suelos, que regeneraba y purificaba la vida de la tierra haciendo que retoñaran los campos de verde y fructificaran de amarillo. Era la gran paridera del campo que entregaba las cosechas de maíz a los hombres. Era la madre de Cinteotl, dios del maíz. Según Giasson, Tlazolteotl “podía nutrir y producir la energía y los alimentos necesarios para el sustento de la vida humana”, pero también podía destruirla, restituirla a la tierra y con ella hacer que rebrotaran los montes.



Esa basura tirada en las áreas de cultivo y mezclada con el suelo, consistía en diversos materiales orgánicos, mejor conocidos ahora como *abonos* o *fertilizantes orgánicos*, y eran de diferentes clases, a saber: estiércol, gallinácea, sangre y hueso de pescado o de otros animales, cenizas de madera, guano, cascarones de huevo y cal, entre otros. Por ejemplo, Collings menciona que en la antigua Europa los celtas y otros grupos europeos empleaban en sus cultivos gis, carbonato de calcio, composta que se había formado a través de procesos de miles de años y restos orgánicos de sus comidas.

En algunas partes de Asia, los campesinos recogían y utilizaban los excrementos de origen humano con el mismo propósito. Pero aún en la actualidad, son incontables los campesinos en el mundo que aún aplican las aguas negras o de drenaje de las ciudades en sus campos de cultivo. Esto ha ocurrido en México, China, India, Perú, Colombia, Guatemala y muchos otros países.



Aguas negras y biosólidos

Las *aguas negras*, que son las aguas que conducen las heces fecales de los humanos hacia su disposición final, ya sea campo abierto, río, laguna, mar o planta tratadora, se empezaron a formar a partir de la creación de los sistemas de drenaje de las ciudades.

Anteriormente, a las aguas negras simplemente se las canalizaba para sacarlas de la población, alejando así la pestilencia y las moscas. Pero a raíz de la epidemia de cólera que azotó a Inglaterra en el siglo XIX, Snow descubrió que en esa clase de aguas se encontraba el agente que transmitía la enfermedad. Así, para evitar que las fuentes de agua dulce se contaminaran con el agente patógeno causante de dicho mal, se diseñaron plantas para tratar las aguas negras antes de enviarlas a su destino final y así eliminar el peligro de contagio.

La construcción de sistemas de drenaje generó, sin proponérselo, los que podrían ser los primeros abonos o *fertilizantes líquidos*. Normalmente, quien usa las aguas residuales las emplea tanto como agua de riego como medio fértil para el culti-

vo. Estos fertilizantes líquidos, al igual que los abonos sólidos, llevan diversas cargas de materiales biológicos y químicos, tanto en cantidad como en composición; no obstante, nunca son iguales los valores contenidos en una carga que en otra.

El Valle del Mezquital en México de 130,000 hectáreas de extensión y el Valle de Juárez en Chihuahua, con una superficie de 26,000 hectáreas, son las dos regiones más grandes del mundo que fueron enteramente regadas con aguas negras crudas por varias décadas. El primer valle producía hortalizas y el segundo algodón. El costo en el impacto a la salud de los agricultores que tenían contacto con estas aguas y de los consumidores de las hortalizas contaminadas biológicamente con parásitos y patógenos, fue incalculable.

La instalación de plantas tratadoras de aguas residuales vino a aliviar el problema, pero no a erradicarlo. Todavía hay muchos lugares en México, Centroamérica y Sudamérica, además de otros continentes, donde las aguas residuales tratadas, no tratadas o parcialmente tratadas, son utilizadas para irrigación agrícola y como recurso para fertilizar los suelos.

Las plantas tratadoras de aguas residuales, al tratar las aguas negras y extraerles los materiales sólidos como parte del tratamiento de depuración, generan lodos conocidos como *bio-sólidos*, que son materia sólida rica en nutrientes. En algunas partes los campesinos utilizan estos biosólidos como si se tratara de estiércol, pero lo que ignoran es que cuando las plantas tratadoras no funcionan correctamente, la materia orgánica generada estará sumamente contaminada.

Los riesgos de utilizar biosólidos de plantas tratadoras como fertilizantes orgánicos en la agricultura pueden ser muy altos en países en vías de desarrollo, pues generalmente están contaminados de residuos químicos industriales, restos de medicamentos metabolizados por humanos, restos de sustancias químicas de alimentos industrialmente procesados y parcialmente metabolizados por los consumidores, así como detergentes, jabones, limpiadores, aceites automotrices, plaguicidas, solventes y sales, entre otros. De hecho, este tipo de biosólidos debería de ser clasificado y confinado como material peligroso (Fig. 2.1).



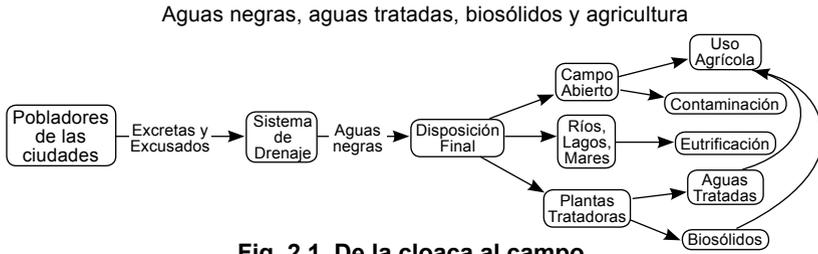


Fig. 2.1. De la cloaca al campo.

Regularmente, como una forma de deshacerse de los biosólidos y hacer negocio a la vez, con el pretexto de reciclar y de inducir una agricultura sustentable, las plantas tratadoras suelen conforman nuevas empresas para fomentar el uso de esta materia en la agricultura. Incluso, como señala la guía australiana de biosólidos, la propia Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, acepta tácitamente la existencia de contaminantes como metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio y otros), plaguicidas (DDT, Aldrín y Dieldrín, Clordano, Lindano y Benceno, entre otros), y hasta los altamente carcinogénicos PCB o bifenilos policlorados (como las dioxinas), entre otras sustancias orgánicas químicamente sintetizadas, como sustancias aceptables hasta cierto nivel y que pueden ser usadas en la agricultura (Tabla 2.1).



Tabla 2.1. Contaminantes químicos en los biosólidos
Contaminantes aceptables

Contaminantes		No contaminantes
Metales pesados	Plaguicidas	Nutrientes
Arsénico	DDT, DDD, DDE	Nitrógeno
Cadmio	Aldrín	Fósforo
Cromo	Dieldrín	Potasio
Cobre	Clordano	Calcio
Plomo	Heptacoloro	Magnesio
Mercurio	Lindano	Azufre
Níquel	Benceno	Zinc
Selenio	Hexacoloro	Materia orgánica
Zinc	PCBs	

Lo que no se menciona en esta ni en otras guías, son los factores de bioacumulación y bioconcentración que están presentes en esta clase de materiales; es decir, la cantidad de una sustancia que a lo largo de cierto tiempo va acumulando el organismo (vegetal o animal) que la absorbe a través de sus raíces o la ingiere, y la concentración que esa sustancia desarrolla en alguna parte del cuerpo de ese organismo. Pero bajo ciertas circunstancias, también hay acumulación y concentración de sustancias en los suelos. En pocas palabras, lo aceptable sería que los biosólidos no contuvieran restos de ningún contaminante químico. Sin embargo, a los biosólidos los empaquetan, etiquetan y agregan leyendas alentadoras para ser vendidos como *productos verdes*.

Fertilizantes inorgánicos

Los fertilizantes, de acuerdo con Murray Park, pueden ser definidos como: “materiales orgánicos e inorgánicos que se aplican al suelo y le proveen de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, usualmente por absorción a través de sus raíces. Esos fertilizantes son empleados para complementar el abasto natural de nutrientes del suelo; para compensar los nutrientes perdidos durante la cosecha de cultivos, el drenaje al subsuelo, o el intercambio gaseoso; y para mantener o mejorar la fertilidad del suelo”.

Los fertilizantes, como se ha demostrado, no se absorben únicamente por la raíz de la planta, sino también por las hojas. Los primeros estudios al respecto los realizó el investigador austriaco F.W. Dafert, fundador del primer centro de investigación agrícola en Brasil cerca del año 1887. Dafert infirió que si las algas marinas no poseían raíces y sin embargo se alimentaban, era entonces probable que los materiales nutricios ingresaran a su organismo a través de las hojas. De esta idea pasó a la práctica y la llevo a la experimentación.

De acuerdo a las afirmaciones de Park, muchos de los fertilizantes modernos, como el sulfato de amonio, la urea, el nitrato de amonio, el mono o triple superfosfato y el potasio, son sustancias químicas inorgánicas simples que existen de forma



natural en el ambiente. Por ejemplo, el nitrato de sodio, que por más de 150 años se ha extraído de los depósitos naturales de Chile. El nitrato de amonio y el sulfato de amonio también existen de manera amplia y natural en el ambiente.

Los modernos agroquímicos, como los insecticidas, herbicidas, acaricidas, fungicidas, nematocidas y otros más, en contraste con los anteriores, son sustancias químicas que se constituyen principalmente de moléculas sintetizadas en el laboratorio, mientras que los fertilizantes naturales son más amigables y estables en el medio. Los compuestos quimiosintéticos son muy inestables, persistentes y en muchas ocasiones, se insertan a la cadena alimenticia de las especies, incluida la del hombre, con resultados inesperados.

Nutrientes en los fertilizantes

Los nutrientes en los fertilizantes se definen como primarios, secundarios y micronutrientes y consisten en lo siguiente:

- Nutrientes primarios: Los que requiere la planta en grandes cantidades, como el nitrógeno, fósforo y potasio.
- Nutrientes secundarios: Calcio, magnesio, sodio y azufre.
- Micronutrientes: Hierro, zinc, cobre, manganeso, boro, molibdeno, entre otros.

Simples	Compuestos
<p>Sólo tienen un nutriente primario: Urea con 46% de nitrógeno</p> <p>Superfosfato con 16-18% de P_2O_5 Muriato de potasa con 62% de K_2O</p>	<p>Tienen dos o tres nutrientes primarios: Fosfato de amonio con 18% de nitrógeno y 46% de P_2O_5 y otro químico combinado</p>

Tabla 2.2. Clasificación de los fertilizantes

La deficiencia de cualquier nutriente producirá pobres cosechas, por lo que el balance de los nutrientes a la hora de fertilizar es de vital importancia. Otro aspecto importante que

no debe pasar por alto el agricultor, es el del pH del suelo, donde 6.5 es el más recomendado para tener un suelo óptimo para cultivar.

En Inglaterra se ha utilizado el encalado para desacidificar el suelo pues, según Park, la lluvia constante o la lluvia ácida, al menos en aquella región, acidifica los terrenos. Pero también adquieren acidez por el uso de ciertos agroquímicos. Debido a estas circunstancias, los agricultores tienen como norma desacidificar los suelos cada cinco años.

En algunos países, el caliche o el gis es considerado fertilizante y se aplica al suelo tantas veces como creen que sea necesario, a riesgo de endurecer demasiado los terrenos de cultivo. En otros, como Inglaterra, no se les considera fertilizantes y sólo se utilizan cuando lo consideran prudente.

Además, por su origen inorgánico u orgánico, los fertilizantes se catalogan de la siguiente manera (Tabla 2.3):

Tabla 2.3. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos: diferencias

Orgánicos	Inorgánicos
Voluminosos y difíciles de manejar	Altamente concentrados y fáciles de manejar
Usualmente con alto contenido de agua y bajo en nutrientes	Normalmente no proveen de materia orgánica al suelo
Proveen de materia orgánica que ayuda a la estructura del suelo	Son de liberación rápida, aunque hay fórmulas de liberación lenta
Son fertilizantes de liberación lenta	Fertilizantes concentrados como la urea no poseen micronutrientes. Otros, como el superfosfato, tienen nutrientes secundarios y micronutrientes
Contienen micronutrientes	Pueden formularse para suelos específicos, condiciones de cultivo, y añadirseles micronutrientes
Son caros por unidad de planta	Son relativamente baratos por unidad de planta
	Pueden compensar las características del suelo ya sea endureciéndolo o acidificándolo

Fuente: M. Park. Elaboración: VGA



Suelos y fertilidad

Monocultivos

Los campos de cultivo son entidades artificiales creadas por el hombre sobre terrenos que alguna vez fueron bosques, selvas, praderas, zonas lacustres o hasta llanuras desérticas, en regiones montañosas, en medio de valles, planicies e incluso, sobre superficies ganadas al mar. La vegetación original de dichas regiones fue eliminada para utilizar su superficie y los suelos de dichos campos fueron sometidos para producir alimento, forraje, textiles o cualquier otra cosa que al hombre se le haya ocurrido.

Los campos de cultivo o monocultivo usualmente son áreas constituidas por una sola especie, misma que no es de *natural desarrollo*, hablando en un sentido estricto, debido a que el hombre les proporciona todo tipo de cuidados para mantenerlas sanas y a los campos productivos. Selecciona las variedades más adecuadas al sitio y a sus necesidades, les administra toda el agua que sea necesaria, bombeándola desde lugares lejanos o extrayéndola desde el subsuelo; les provee los nutrientes o fertilizantes más convenientes; combate sus enfermedades y elimina sus plagas con potentes agroquímicos asperjados desde el piso o desde el aire; limpia, drena y oxigena los suelos; incluso, crea ambientes sombreados para sus cultivos a fin de protegerlos del sol o del granizo, así como también genera ambientes cálidos para el duro invierno y levanta las cosechas con moderna maquinaria que hacen el trabajo de cientos de hombres.

Hay lugares que desde hace siglos son utilizados para la agricultura, regiones con una vocación por la vid, el olivo, el



trigo o el arroz, por mencionar sólo algunos; y regiones sin vocación donde los cultivos son cambiados de la noche a la mañana al compás de la oferta y la demanda. Entre éstos, hay sistemas vegetales maduros que mantienen un nivel de funcionamiento en cierta manera estable y otros que con cada temporada muestran agudos desequilibrios y un constante estado de vulnerabilidad.

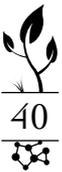
La razón principal de estos desequilibrios es que el uso persistente y hasta abusivo de los suelos, particularmente el mal uso de ellos, provoca un agotamiento de los nutrientes que en un momento existieron, por lo que el agricultor deberá suplementar esa falta con nutrientes orgánicos o inorgánicos, según sea su costumbre o su capacidad económica para soportar la vida y producción de sus cultivos. Pero también en ciertas ocasiones, el agricultor literalmente mata a esos suelos al prodigarles exceso de suplementos, como podrían ser los componentes cálcicos que los endurecen como rocas y los convierten en suelos impenetrables.

A continuación se presenta un breve repaso sobre los elementos que constituyen los principales fertilizantes y para qué sirven.

Los fertilizantes

La productividad de la tierra utilizada para el desarrollo de campos de cultivo, según explica Roberts, no puede mantenerse indefinidamente sin la aplicación de elementos minerales para el crecimiento de las plantas.

Para su óptimo desarrollo, la planta requiere determinadas cantidades de materiales nutritivos. Binford menciona que existen diversas fuentes de nutrientes que las plantas pueden aprovechar, como las siguientes: (1) la materia orgánica existente en el suelo, (2) los minerales naturales del suelo, (3) la materia orgánica que se le añade al suelo (de forma natural por la depositación de hojarasca, troncos o animales muertos sobre la superficie; o de manera artificial por el agregado de abonos a mano del hombre), (4) el aire (cuyo nitrógeno es fijado y sintetizado por las leguminosas), y (5) los fertilizantes



comerciales. Cuando el suelo está agotado y la planta no puede obtener los nutrientes que necesita para su desarrollo, los fertilizantes pueden añadirse al campo de cultivo o al jardín y suplementar los nutrientes que los vegetales necesitan.



Algo que los agricultores batallan para entender, es que los fertilizantes son alimento para las plantas y no medicina para el suelo, ni ninguna clase de preparativo mágico para aumentar la producción de los campos de cultivo de alguna misteriosa manera. El hombre que aplica nitrato de soda o fosfato, o también estiércol o cualquier otra clase de "guano" a sus cultivos, y hace por ellos justo lo que realiza cuando les pone avena a sus caballos: alimentarlos para que vivan.

E.E. Miller, 1910.

En general se considera que son 18 los elementos esenciales para el crecimiento de la planta (Tabla 3.1.). No todos los elementos que se muestran en la tabla son aceptados por los expertos. Por ejemplo, mencionan Mullins y Hansen, el cobalto no es considerado por algunos como esencial a la vida de las plantas, porque sólo es requerido por las leguminosas para la fijación del nitrógeno. En cambio, otros afirman que el sodio, el silicio y el vanadio sí son importantes para las plantas.

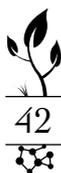
Debido a que el carbono, hidrógeno y oxígeno son elementos constitutivos de todo ser viviente, normalmente no suelen ser considerados como nutrientes, sin embargo, Mullins y Hansen los agregan a la lista de los 18 nutrientes básicos. No obstante, los elementos nutricionales primarios más importantes para la vida de las plantas son el nitrógeno, fósforo y potasio. Sin alguno de estos elementos es imposible su desarrollo. Los elementos nutricionales secundarios son aquellos que las plantas necesitan para completar sus ciclos vitales, pero en menor cantidad que los primeros. Los micronutrientes son elementos también vitales para las plantas pero que requieren únicamente en cantidades pequeñas. Muchos de ellos sirven



Tabla 3.1. Elementos esenciales para las plantas

Elemento	Símbolo	Formas en que las plantas los absorben
Carbón	C	Co ₂
Hidrógeno	H	H ⁺ , H ⁻ , H ₂ O
Oxígeno	O	O ₂
Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Fósforo	P	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻
Potasio	K	K ⁺
Calcio	Ca	Ca ²⁺
Magnesio	Mg	Mg ²⁺
Azufre	S	SO ₄ ²⁻
Hierro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Manganeso	Mn	Mn ²⁺ , Mn ⁴⁺
Boro	B	H ₃ BO ₃ , BO ₃ ⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻
Zinc	Zn	Zn ²⁺
Cobre	Cu	Cu ²⁺
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻
Cloro	Cl	Cl ⁻
Cobalto	Co	Co ²⁺
Níquel	Ni	Ni ²⁺

Fuente: Mullins & Hansen (2006)



más para los procesos fisiológicos que a la construcción de tejido.

En el capítulo anterior se mostró cómo es que los fertilizantes se clasifican en primarios, secundarios y micronutrientes. Pero, ¿para qué sirven? Brevemente se verá qué papel juegan en el desarrollo de la planta:

Fertilizantes primarios

Nitrógeno Se encuentra en la clorofila, ácidos nucleicos y aminoácidos. Es el componente básico de enzimas y proteínas.

Fósforo: Se concentra en las semillas de las plantas como ácido fítico. Juega un papel relevante en la fotosíntesis, la división

celular, el desarrollo del sistema radicular y la maduración de los cultivos. Es un componente fundamental del ácido desoxiribonucleico (ADN), del ácido ribonucleico (RNA) y del adenosín trifosfato (ATP).

Potasio: Existe en forma iónica en las células vegetales. Regula el uso del agua de las plantas y es importante para la resistencia a las enfermedades. Fortalece troncos y tallos. Tiene que ver con la fotosíntesis, la tolerancia a la sequía y la síntesis de proteínas. Está asociado a la calidad, manejo y almacenamiento de la cosecha.

Fertilizantes secundarios

Calcio: Es básico para el crecimiento y división celular. También es necesario para el desarrollo de la raíz y hojas, así como para el funcionamiento de las membranas celulares y la formación de las paredes celulares. Participa en la activación de numerosas enzimas vegetales.

Magnesio: Elemento básico de la clorofila y de su funcionamiento. Forma parte de la estructura ribosomal. Participa en el metabolismo del fósforo y la respiración.

Azufre: Necesario para la conformación de varios aminoácidos. Participa en el desarrollo de enzimas y vitaminas. En las leguminosas induce la nodulación para la fijación del nitrógeno. Forma parte de varias sustancias orgánicas odoríferas en el ajo y la cebolla.

Micronutrientes

Consisten en una serie de elementos que las plantas requieren en bajas cantidades, en una escala denominada *traza*. Algunos de estos micronutrientes y el papel que juegan en el desarrollo y crecimiento de las plantas son los siguientes:



Fierro: Catalizador en la síntesis de la clorofila. Participa en reacciones de oxido-reducción. También activa varias reacciones metabólicas.

Zinc: Es esencial para algunas reacciones metabólicas y enzimáticas. También es necesario para la producción de clorofila, hormonas del crecimiento y carbohidratos.

Molibdeno: Básico para el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno en los nódulos de las raíces de las leguminosas.

Cloro: Participa en la escisión del agua, los cambios de energía, regulación de la apertura de los estomas, turgencia, estrés de las plantas a la falta de humedad y transporte de cationes.

Níquel: Es el componente de la enzima ureasa.

Las fuentes de la materia prima para la producción de los fertilizantes primarios están en los yacimientos mineros y petrolíferos (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Fuentes naturales de materia prima para la producción de fertilizantes

Materia Prima	Tipo de Fertilizantes
Nitrogenados	Amoníaco (derivados del petróleo)
Fosforados	Roca fosfórica Ácido sulfúrico
Potásicos	Nitrato de potasio Cloruro de potasio Sulfato de potasio

La industria de los fertilizantes

Cuando la investigación química hizo objeto de sus estudios a los abonos orgánicos que los agricultores utilizaban en sus granjas para el cultivo de cereales, hortalizas y frutos, tratando de indagar sus componentes hasta el mínimo detalle, se originó la química agrícola.



La industria de los fertilizantes tiene entre 150 y 160 años de existencia. Se considera que fue John Bennet Lawes quien comenzó, alrededor de 1837 en Inglaterra, a experimentar en macetas con diferentes clases de abonos y que de ahí trasladó su experiencia a los campos de cultivo. Según Park, en 1842 Bennet Lawes patentó un proceso para tratar la roca de fosfato con ácido sulfúrico y producir superfosfato, mismo que añadió a sus experimentos. Los expertos estiman que con este gran paso se fundó la industria química de los fertilizantes. Al año siguiente, en 1843, Bennet Lawes se avino como colaborador del químico Joseph Henry Gilbert y fundaron en ese mismo año una estación experimental en Hertfordshire, misma que aún existe. Ahí se experimentó ampliamente con las necesidades nutricias de las plantas, aunque gran parte de los trabajos estaban basados en materiales orgánicos como abonos.

Si le damos un montón de cenizas a un químico para que nos diga de qué están hechas, nos dirá que de silicio, potasio, calcio, fósforo, sodio, aluminio, azufre, hierro, cloro y magnesio. Estos son los elementos que todas las plantas toman del suelo. El suelo mismo los toma de los bancos de roca sólida que a través de millones de años se han ido desintegrando y descomponiendo lentamente.

Por esa época en Alemania, Justus von Liebig investigó la química orgánica e inorgánica de las plantas y estableció que los vegetales se alimentaban de compuestos nitrogenados y de dióxido de carbono del aire, y que otros compuestos minerales que requerían las plantas eran tomados directamente del suelo. Bennet Lawes y Gilbert lo refutaron diciendo que el nitrógeno no procedía del suelo sino del aire. Poco después, en 1886, Hellriegel y Wilfath demostraron que las plantas sí tomaban el nitrógeno del aire, aunque únicamente cuando hubiera sido obtenido por las leguminosas y fijado en el suelo.

Si le damos un montón de cenizas a un químico para que nos diga de qué están hechas, nos dirá que de silicio, potasio, calcio, fósforo, sodio, aluminio, azufre, hierro, cloro y magnesio. Estos son los elementos que todas las plantas toman del suelo. El suelo mismo los toma de los bancos de roca sólida que a través de millones de años se han ido desintegrando y descomponiendo lentamente.



Expansión del comercio de los fertilizantes

De acuerdo con Roberts, hacia el año 1860, ya había en cuatro estados de la Unión Americana 47 empresas que expendían fertilizantes. En 1890, 15 estados americanos poseían empresas comerciales de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, y el número de éstas ascendía a 390. Extrañamente, todas esas empresas estaban en el noreste de la nación; ninguna en el centro, oeste o sur del país.

Germán Kali Works dedicó un estudio a este tema, al cual nombró *La necesidad de fertilizantes en el árido oeste* (Need of Fertilizers in the Arid West), donde llama la atención el porqué mientras que en el este del país la palabra *fertilizante* se había convertido en una palabra común y hasta familiar para las amas de casa, en el oeste casi no se conocía el término; mucho menos se empleaban los fertilizantes. El autor encontró que a medida que los territorios americanos eran más áridos, en esa razón, de húmedo a seco, iba desapareciendo el conocimiento y uso de los fertilizantes. Los agricultores de esas zonas lejanas seguían aplicando estiércol a sus suelos.

En la década de los años ochenta del siglo XIX surgió en Estados Unidos lo que se llamó *movimiento de los fertilizantes*, cuyo propósito fue enfatizar la importancia de la agricultura, que era tan vasta e impactante como el comercio, la industria y la minería de ese país, y además, homologar las leyes de los estados sobre el comercio, uso y control de los fertilizantes, pues las diferentes perspectivas sobre estos materiales contenían la expansión del mercado y afectaban su empleo según la legislación del estado que se tratara. Este movimiento, creado por la Asociación Nacional de Fertilizantes, fortaleció a la agricultura, al comercio y la industria agrícola.



“La aplicación científica en la preparación de alimentos concentrados para plantas, constituye una forma de estimar el progreso que un país está haciendo en el dominio de la agricultura”.

The Fertilizer,
Movement in the United States, 1886.

SUELOS Y FERTILIDAD

Las estaciones agrícolas experimentales, que se multiplicaron por todos los estados y regiones agrícolas americanas, hicieron interactuar a los investigadores con los agricultores y las autoridades agrícolas; forjaron un horizonte hacia donde dirigir su desarrollo en el siglo XX que estaba por comenzar. México, envuelto en el descontento civil, la inseguridad e inestabilidad, como sucede ahora también, estaba aún muy lejos de esa agricultura que por el uso de la química aplicada a suelos y fertilizantes y, por lo tecnificada, entonces comenzaban a llamar *agricultura científica*.

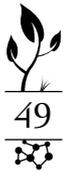


Los fertilizantes en México

Producción en México

La producción industrial de fertilizantes en México tiene 67 años de existencia. De acuerdo con Manuel Clouthier, comenzó en 1943 con la creación de Guanos y Fertilizantes de México, S. A., a instancias de la Secretaría de Agricultura encabezada por el ingeniero Marte R. Gómez. No es ninguna casualidad que esta fecha coincida con la preocupación externada por Henry Wallace en diciembre de 1940, cuando afirmó que el agro mexicano estaba en condiciones críticas y que de no hacerse algo al respecto, era probable que se produjera una hambruna en México en un futuro próximo. El señor Wallace conocía de lo que hablaba, ya que en la década de 1920 había trabajado como investigador en el mejoramiento del maíz y en los años treinta fungió como Secretario de Agricultura de Estados Unidos. En 1926 fundó Pioneer Hybrid Seed Company, que actualmente, es la segunda semillera más grande del mundo. También fue editor de *Wallace's Farmer*, revista que tuvo enorme influencia en los agricultores americanos.

La visita de Wallace a México influyó para que el ingeniero Marte R. Gómez, quien también había sido director de la Escuela de Agricultura de Chapingo, solicitara el apoyo científico de la Fundación Rockefeller, tanto para evaluar la situación general en el país, como para identificar una estrategia de acción para atender la problemática.





Conocer los hechos antes de ir a la acción. Para esto, los hombres prometedores y las ideas creativas son básicos y fundamentales.

The Rockefeller Foundation

Como se mencionó en un capítulo anterior, la mayor parte de la agricultura del país estaba en una situación de producción casi rudimentaria y apenas de sobrevivencia. Durante siglos, los campos de producción agrícola y los terrenos potencialmente agrícolas estuvieron en manos de terratenientes y el uso de los suelos no necesariamente entrañaba la aplicación de métodos agrícolas modernos para la época. La Reforma Agraria que repartió millones de hectáreas a los campesinos, les dio tierra para sembrar, pero no los instrumentó ni económica ni técnicamente para trabajarla. Además, el analfabetismo predominaba en la población nacional.

Y es que después de tres siglos de dominación española y 130 años de doloroso crecimiento como nación, entre combates a invasores y guerras civiles, los indígenas y los mestizos que habitaban las zonas rurales de México sin duda fueron perdiendo sus tradiciones, sus prácticas culturales y su relación con la tierra. Además, después de años de lucha armada durante la época de la Revolución Mexicana, que no hacía mucho había concluido, el otorgamiento de terrenos o ejidos por parte del gobierno federal a través de la Reforma Agraria a la gente del campo, llegó cuando ellos estaban sumergidos en una profunda ignorancia del quehacer agrícola.

Lamentablemente no había una identidad agricultora y emprendedora entre los nuevos ejidatarios, únicamente la del campesino pobre que tiene que luchar contra la tierra para sacar el sustento; era eso o morir. No porque vivieran en el campo —pues a comienzos de la década de 1940 alrededor de 80% de la población mexicana era rural— tendrían por fuerza que saber contender con las actividades que entraña la agricultura. Y esa fue quizá la parte débil de la Reforma Agraria, que recibió la carga de una

pesada herencia de más de 400 años que primero forjó esclavos y después jornaleros sin educación y sin tierra; y así, sin preparativos ni instrucción previa, les devolvió la tierra que por derecho les pertenecía. La agricultura de aquel momento estaba basada principalmente en el cultivo del maíz y el frijol como sustento, por lo que Wallace inmediatamente notó que había serios problemas nutricionales y una hambruna por venir.

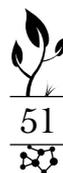
Misión científica

La misión científica de la Fundación Rockefeller en México fue llamada México-Rockefeller Foundation International Agriculture Program, e inició sus trabajos en el país en 1941 y extendió sus colaboraciones hasta 1961. El núcleo de trabajo estaba dentro de la Secretaría de Agricultura y según Martínez Gómez, llegó a contar hasta con 100 investigadores mexicanos y 22 de origen estadounidense. No está por demás enfatizar que esta relación fue el parte aguas de la modernización agrícola en México.

Entre las acciones estratégicas que se produjeron para evitar la amenaza de la hambruna y para impulsar la evolución de la agricultura, fueron: la tecnificación del campo, extensionismo agrícola, aprovechamiento de la diversidad de variedades de semillas —el cual se hizo a través del Programa de Mejoramiento Genético, que era el eje de esta relación—, empleo de fertilizantes y creación de sistemas de riego, entre otros.

Dice Martínez Gómez en *La globalización en la agricultura* que “el éxito de los rendimientos (agrícolas) en ese país (Estados Unidos) frente al rezago en México, orientaron la perspectiva del desarrollo productivo en el sentido de emular el esfuerzo del país vecino con todos o casi todos sus ingredientes tecnológicos”.

En el mismo texto, Martínez Gómez cita a Wilke, quien afirma que el presidente Manuel Ávila Camacho “le concedió el mayor interés al mejoramiento de la producción agrícola del país y a dar mayores oportunidades para que pudiéramos depender de nosotros mismos, en vez de tener que depender de importar productos”.



Empresas privadas y nacionalización

En 1957 surgió la primera industria mexicana de fertilizantes de inversión privada, Fertilizantes Monclova, S. A., que producía súper fosfato triple de calcio. Posteriormente, en 1961, se fundó la empresa Fertilizantes del Bajío, S. A. y en 1962, la de Fertilizantes del Istmo, que producía ácido nítrico y nitrato de amonio. Sin embargo, entre los años 1965 y 1967, durante el sexenio del presidente Gustavo Díaz Ordaz (1964-1970), el gobierno federal nacionalizó y monopolizó la industria de los fertilizantes.

El principal motivo de esta acción se debió a que el Estado consideraba que los fertilizantes eran un componente vital para la estrategia de desarrollo nacional y por lo tanto, no podía estar en manos de la iniciativa privada. Entonces creó a Fertimex (Fertilizantes Mexicanos S. A.), corporación que absorbió las empresas privadas existentes y se hizo cargo de la producción y comercialización total de los fertilizantes con la idea de establecer una política de precios única. El sistema de distribución quedó con la participación de pequeñas empresas privadas, que además de distribuir el producto, también mezclaban y envasaban.

A principios de la década de 1980 había en el país 17 empresas paraestatales constituidas por Fertimex. Sin embargo, como señaló Clouthier, con tanta contratación de personal como se estaba dando en Fertimex, la empresa se convirtió en una de las entidades más burocratizadas y costosas del gobierno federal.



*Fertilizantes Mexicanos, S.A. (FERTIMEX),
fue creada para producir, importar, comercializar y
distribuir el fertilizante de una manera eficiente, planear
el crecimiento de la industria, lograr la autosuficiencia y
exportar sus excedentes.*

*... en lugar de lograr los fines para los que fue creada,
FERTIMEX se está convirtiendo en una de las empresas
más burocratizadas del Gobierno Federal.*

Manuel J. Clouthier

Desde que empezó la fabricación de fertilizantes en México, las necesidades del campo siempre fueron mayores a la oferta del mercado nacional, por lo que la importación fue una constante presente. A medida que la producción aumentaba también lo hacía la importación (Tabla 4.1). Entre 1982 y 1990, la denominada “década perdida” para América Latina, según Ávila Dorantes *et al.*, el mercado de los fertilizantes se estancó. La inflación subió de 56% a más de 100% y la devaluación constante de la moneda afectó al mercado.

Los precios de los fertilizantes que hasta antes de 1982 se habían mantenido retrasados respecto al aumento de los precios de garantía de los productos –pues el estado subsidiaba su adquisición, incluidos los fertilizantes importados–, se incrementaron a partir de 1983, momento en que se invirtió la situación, puesto que aumentaron más los precios de los fertilizantes que los de garantía. Esta tendencia continuó hasta principios de la década de los años noventa.

Tabla 4.1. Fertilizantes en México

Año	Producción Nacional	Importación
1968	1,032,000 TM*	190,000 TM*
1982	3,615,000 TM*	370,000 TM*

*TM: Tonelada métrica

En 1992, durante el gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari (1988-1994), Fertimex fue vendida a la empresa Velpol, S. A. de C. V., cuya denominación actual es TEKCHEM S. A. B. de C. V., empresa que en gran medida produce agroquímicos, como insecticidas y herbicidas. De acuerdo con Ávila Dorantes *et al.*:

A raíz de la privatización de esta empresa, aunada a la apertura comercial y la selectividad de la operación crediticia del agro, el mercado de los fertilizantes se transformó de manera radical, ya que pasó de un mercado de precios controlados, de proveedor único y de áreas de ventas protegidas, a un mercado libre de competencia. Ahora, las crecientes importaciones y la concurrencia de nuevos “distribuidores” constituyeron una nueva realidad del mercado.



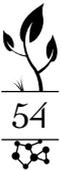
TLC y debacle del monopolio nacional de fertilizantes

La privatización de Fertimex significó el fin de una era que había iniciado casi medio siglo atrás, con una visión social del campo que no se logró sostener en el tiempo. De aquí en adelante, la producción de fertilizantes se redujo de tal forma que en un breve período de tiempo el mercado de estos nutrientes entró en crisis. El vacío de oferta fue aprovechado por empresarios nacionales y extranjeros que comenzaron a introducir al país lo que aquí se dejó de fabricar.

En 1993 se aprobó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) entre México, Estados Unidos y Canadá, mismo que entró en vigor el primero de enero de 1994. Ante este escenario, México inició una fuerte dependencia a los productos extranjeros que hasta la fecha continua en ascenso.

En materia de nutrientes vegetales, el TLC abrió la puerta a la introducción de toda clase de fertilizantes, incluso a los que llaman *fertilizantes chatarra*. El investigador Jesús Caballero Mellado del Centro de Ciencias Genómicas, en entrevista con Nurit Martínez, advierte que no existe supervisión sobre la calidad de los fertilizantes importados y que éstos deben ser sometidos a certificación. Señala que también es necesario evaluar su impacto en la producción agrícola, pero también hay que tomar en cuenta sus efectos sobre los sistemas edáficos.

En 1997, tres años después de iniciado el Tratado de Libre Comercio y teniendo como escenario el cierre de plantas, estalló la crisis de los fertilizantes; lo que propició la desintegración de la cadena productiva gas-amoníaco-urea y el incremento de los precios de las materias primas. Los productores nacionales no podían competir con los importadores de productos internacionales, por lo que algunos abandonaron el mercado o se convirtieron en importadores. De tal forma que en el año 2001, el mercado mexicano de fertilizantes se encontraba en la peor crisis de su historia. De acuerdo con Mayela Córdoba, la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), Ferquirey (Peñoles) y Rhodia de México, sostenían que la industria de los fertilizantes se encontraba al borde del colapso, pues apenas operaba 42% de su capacidad instalada.



En esos años las importaciones de fertilizantes necesarios para cubrir la demanda del mercado provenían de Rusia, Estados Unidos, Ucrania y Venezuela, entre otros países. De tal manera que las ganancias las obtenían los grandes importadores quienes, según explicó Amílcar Cabrera Basto a Córdoba, “simplemente negociaban bajo condiciones muy favorables sin tener que haber invertido en las grandes plantas ni en sostener la fuente de empleo”.

Enrique Bazúa Rueda asevera que México “se convirtió en pocos años en un país que depende totalmente de las importaciones en un área que debería ser estratégica”. Y es que prácticamente todas las plantas de PEMEX que producían urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio y superfosfato simple, fueron cerradas, por lo que se dejó de abastecer al país. En 2004, una nota del periódico Mural advertía que PEMEX buscaba trasladar al extranjero al menos dos de las plantas de urea, mismas que se encontraban situadas en Cosoloacaque. Para el año 2005, a juzgar por los datos aportados en un reporte de la Asociación Nacional de Comercializadores de Fertilizantes importaba grandes cantidades de fertilizantes (Tabla 4.2).

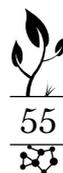


Tabla 4.2. Importación de fertilizantes en México, 2005

Producto	Toneladas
Urea	1, 370,000
Fosfato Diamónico (DAP)	415,000
Cloruro de Potasio (KCL)	236,000
NPK	175,000
Fosfonitrato	155,000
Fosfato Monoamónico (MAP)	135,000
Nitratos/Varios	150,000
Sulfato de Amonio (SAM)	102,000
CAN	50,000
Sulpomag	50,000
Nitrato de Amonio	47,000
Sulfato de Potasio	45,000
TOTAL	2, 930,000

Fuente: ANACOFER, 2006.

En el año 2007, las importaciones de fertilizantes alcanzaron la cifra récord de 3.2 millones de toneladas, según reportó FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). Durante el año 2008 la demanda de fertilizantes para el campo mexicano era de 4.7 millones de toneladas, de las cuales 60% se habían importado. En ese mismo año, el marco legal energético estableció una serie de criterios para que México dejara de importar fertilizantes y para que fijara precios al agricultor durante épocas de crisis.

Mucho se ha insistido al gobierno federal que reactive la cadena de amoníaco, que es el principal insumo para la producción de fertilizantes, empezando por las plantas de urea de Cosoloacaque en Veracruz, Salamanca en Guanajuato y Camargo en Chihuahua, pues mientras esto no suceda, se seguirán beneficiando los negocios importadores. Y es que México, después de haber sido en un tiempo el primer productor de amoníaco a nivel internacional, hoy tiene que importar el total de la urea que requiere el país, que de acuerdo a Chiñas Córdova, quien se basa en datos de la Secretaría de Agricultura (SAGARPA), se estima en millón y medio de toneladas.

Ese mismo año (2007), PEMEX Petroquímica licitó y vendió plantas productoras de amoníaco que se encontraban en desuso, como fue la de Amoníaco III, ya que Amoníaco IV y V estaban paradas. La planta de Camargo se puso en venta como chatarra a la empresa Kalischatarra.

Desde el año 2002, el Comité Nacional de Estudios de Energía, según indica Israel Rodríguez, ya señalaba que México era el único país que en plena crisis energética mundial tenía paradas plantas de petroquímica para la producción de amoníaco, señalando además, que esta política pública sólo favorecía a unos cuantos que se dedicaban a la importación de la materia prima.

Panorama de la industria de los fertilizantes en México

Según el reporte de FIRA, desde el año 2000 China produce 22.4% de los fertilizantes a nivel mundial; Estados Unidos 11.9%, India 9.4%, Canadá 8.7% y Rusia 8.6%. México ocupa el 36° lugar mundial como productor de fertilizantes con 0.4% del total, cuando en años anteriores llegó a estar entre los diez primeros.

Asimismo, China consume 27.3% de los fertilizantes producidos globalmente, Estados Unidos 13.5%, India 12% y México, que ocupa el 15° lugar a nivel mundial, consume 1.2%.

Aunado a lo anterior, México importa 2% de la producción mundial por lo que se estima que entre esto y lo producido en casa, el excedente se reexporta.

El panorama que se avizora para la industria de los fertilizantes en México no es halagüeño si no se reduce la brecha creada por el propio gobierno federal de la producción doméstica a la importación de materias primas y, en especial, si se sigue sujetando al amoníaco a las políticas de la industria petroquímica en vez de las políticas de la agroindustria. Y es que a pesar de que el Diario Oficial de la Federación publicó el 28 de noviembre de 2008 una reforma a la Ley de PEMEX a la que se le añadió “un capítulo específico para contribuir a resolver el problema del suministro de insumos para la industria de los fertilizantes, proveyendo el amoníaco y azufre, entre otros, a precios que permitan el desarrollo de la industria nacional”, como lo menciona FIRA, a año y medio después de publicada la reforma, la situación permanece estancada.

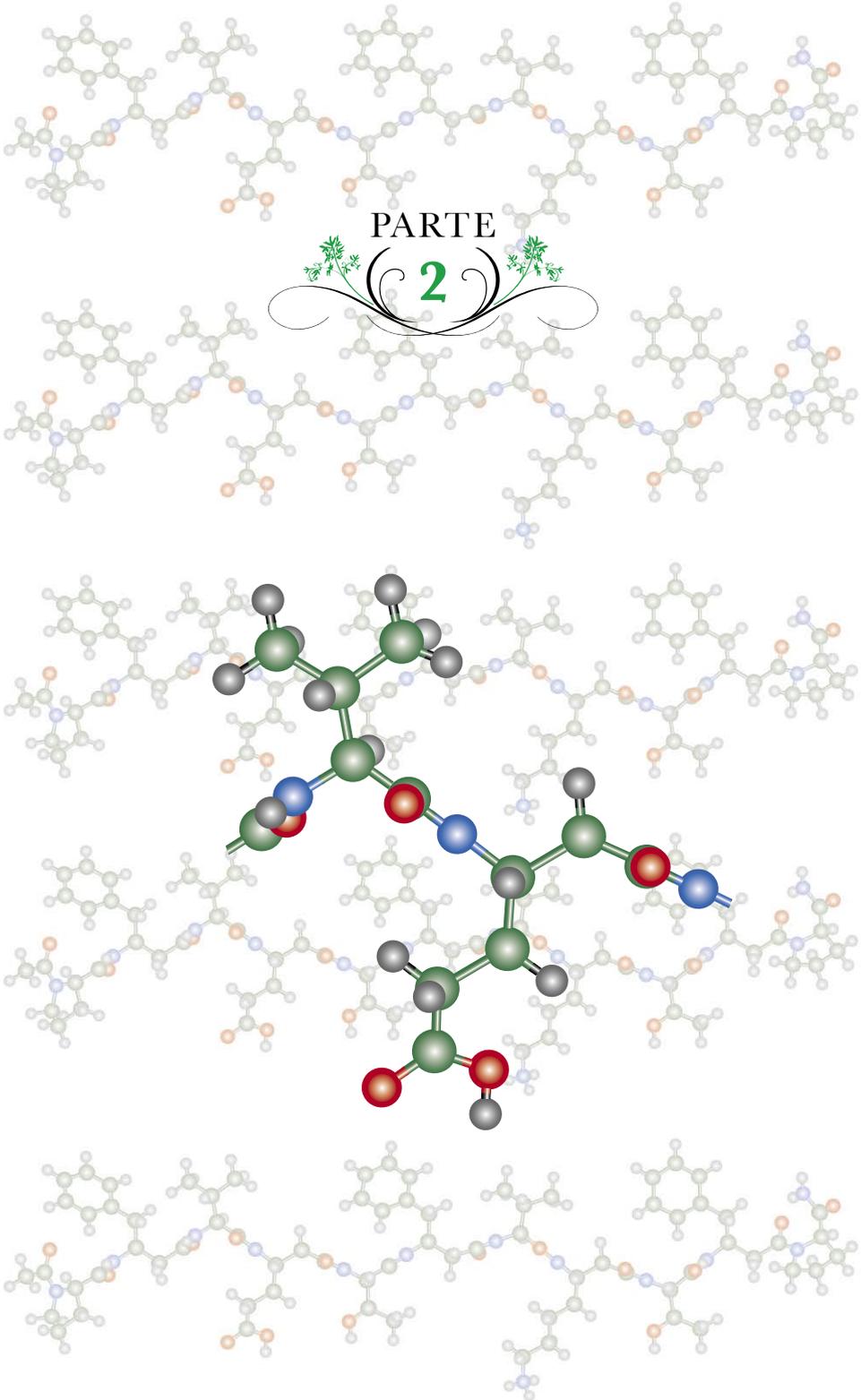
Ávila Dorantes afirma, basándose en datos de Agro2000, que “de no tomarse las medidas para el rescate de esta industria en *vías de extinción*, la producción nacional de fertilizantes desaparecerá, afectando la seguridad alimentaria del país”.

En un país donde menos de 50% de los campos agrícolas son tratados con fertilizantes químicos y el resto con abonos naturales, aguas negras o sin ningún tipo de fertilizante, el futuro que entrevió Wallace en 1940, el de una hambruna, está en puerta.



PARTE

2

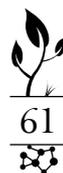


Desarrollo científico e innovación tecnológica

La generación del *baby boom*

En la época en que vivimos, con tantos medios informativos acechándonos a diestra y siniestra, no hay día en que no escuchemos hablar de la ciencia, la tecnología o de alguno de sus productos. Se cuentan por miles los artículos de consumo o los servicios que mejoraron la vida del hombre en el siglo XX en todos sus aspectos, a saber: salud, alimentación, educación, vivienda, comunicación y transportación, entre tantos otros más. Día a día están al alcance de las personas del siglo XXI nuevas cosas que, desde su origen científico e implementación tecnológica, la industria produce para reemplazar a otras cosas. Lo anterior no quiere decir que los artículos sustituidos o que se consideren pasados de moda no tengan utilidad, sino que los convertimos en obsoletos con respecto a los nuevos artículos. Un ejemplo muy claro, es el de la televisión digital que llegó en el presente siglo para ocupar el lugar de la televisión análoga, lo cual no quiere decir que la análoga no sirva ya, simplemente que la digital ofrece una visión más nítida y mejor sonido.

Las generaciones posteriores a la Segunda Guerra Mundial, en sus años de infancia y adolescencia, todavía se maravillaban cuando surgían a la luz pública los avances de la ciencia y la tecnología. Entre los años cincuenta y setenta, la televisión y la radio fueron quizás dos de los adelantos que más impacto causaron, en especial, la transmisión radial y televisiva de los viajes espaciales y el alunizaje. Eran los años de la guerra fría, los satélites, el radio de transistores, la tarjeta de crédito, la píldora anticonceptiva, el trasplante de corazón, el código de barras, el horno de microondas, el reloj digital, el láser, el

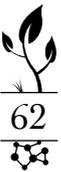


microchip, la calculadora electrónica de bolsillo, la videogradora VHS y el Atari, entre tantas cosas más.

Pero a medida que llegaron las décadas de los ochenta y noventa y posteriormente el comienzo del siglo XXI, los niños y jóvenes se fueron acostumbrando a ver con mayor frecuencia aparatos y artículos que portaban una tecnología cada vez más avanzada e ingeniosa, como el Nintendo, los discos compactos, la videocámara, el geoposicionador o GPS, los autos computarizados, los autos híbridos, computadoras de mesa y portátiles, los teléfonos celulares, el cine en casa con videocasete y DVD, la cámara digital, la grabadora digital, la videocámara, el Internet, el iPod, hasta el iPad de hoy y muchos productos más que están surgiendo por donde quiera. Ya nada parece impresionar a las nuevas generaciones, lo que les excita es la ansiosa espera del producto anunciado con meses o años de anticipación, quizás cuando todavía no existe.

Este cambio de mentalidad, del asombro al prurito por adquirir lo nuevo y que ha venido presentándose entre las novelas generaciones, las ha predispuerto a creer que con la ciencia y la tecnología se puede absolutamente todo, incluso lo imposible. Una situación que es clara muestra de lo anterior, ocurrió en la reacción que mostraron algunas personas en abril de 2010 cuando hizo erupción un volcán en Islandia, provocando que las compañías aéreas se vieran obligadas a cancelar indefinidamente todos sus vuelos sobre la región afectada, debido a la escasa visibilidad generada a causa de las cenizas. La reacción de las personas perjudicadas fue tan sorprendente que se convirtió en noticia nacional en Estados Unidos: la gente demandaba que los científicos hicieran algo para limpiar los cielos o que inventaran algún aparato que les permitiera cruzar las partículas volcánicas y así trasladarse a sus destinos. No podían creer que la ciencia y la tecnología —así como en las películas de ciencia ficción donde los científicos salvan al planeta de cualquier catástrofe mundana o invasión extraterrestre— no los pudieran sacar del atolladero.

Y es que durante el siglo XX, como en ninguna otra época anterior de la existencia del hombre, la búsqueda del conocimiento y su aplicación práctica para el diseño de entornos y artefactos, se constituyeron en el motivo primero y último que



movió al mundo. Los éxitos de la ciencia y la tecnología son palpables, pero sólo una parte de ellos, porque lo que en un momento fue un impactante adelanto, en otro momento aminoró su marcha hasta detenerse... y en ocasiones, para retroceder.

Por ejemplo, los *milagros médicos* que hace un siglo abatieron graves enfermedades de la humanidad, como las enfermedades bacterianas, han sido rebasados por la emergencia de nuevas cepas resistentes a los fármacos. O el caso de la resistencia de los insectos a los insecticidas. Ya nada parece hacerles daño, ni a los insectos que perjudican a los campos agrícolas ni a los que transmiten enfermedades. El paludismo es el caso de una enfermedad transmitida por insectos y que cobra más de 450 millones de casos por año –la 15ª parte de la población global–, de los cuales mueren poco más de un millón por año. Ni los programas de la Organización Mundial de la Salud para proveer de tratamientos médicos a los enfermos ni las fumigaciones contra el insecto vector han podido contra el binomio mosquito-enfermedad (*Anopheles-Plasmodium*).

Ni la misma tecnología de la *revolución verde* de Norman Borlaug, que con sus variedades de cereales mejorados salvó del hambre a más de mil millones de personas durante los años cincuenta y sesenta del siglo XX, y que con su hazaña científica asombró al mundo entero, pudo mantener la eficacia de sus variedades vegetales para continuar alimentando a los hambrientos. En este nuevo milenio, son cientos de millones las personas que padecen de hambre y desnutrición.

El analfabetismo científico de los seres humanos en general es de tal magnitud, que en ocasiones, parecería que las personas llegan a confundir ciencia con magia. Y no es un decir, ya que diversas encuestas realizadas en México, Estados Unidos y otros países, han demostrado que la ignorancia de las personas respecto a la ciencia y su acendrado interés por los temas de encantos y embrujos, esoterismo y temas relacionados, son cosa de la vida diaria. No es de esperar entonces un pensamiento sensato a la hora de buscar soluciones a sus problemas.

Cuando los términos y conceptos no están claros para algunas personas, tienden a confundir unos con otros, como sucede entre *ciencia y tecnología*. Con frecuencia se confunden



ambos términos, presuntamente por la idea de progreso que conllevan en su quehacer y sus resultados.

Las palabras ciencia y tecnología se escuchan de manera tan cotidiana en todos los medios y lugares, que su significado original se ha devaluado tanto que llega a ser difícil identificar el momento en que su uso se refiere a algo serio o cuando sólo se utilizan estas palabras para darle elegancia a lo que se menciona o se quiere vender. Con colgarle el mote a lo que se produzca, como si se tratara únicamente de bautizarla, algunas personas hacen creer a las demás que son productos o tratamientos científicos.

Ciencia y tecnología

Si no se comprende el significado de los términos ciencia y la tecnología, mucho menos se tendrá en claro como se llevan a cabo la una y la otra. Para empezar, como define Mario Bunge, *ciencia* es investigación y conocimiento especializado; es decir, se constituye por un *hacer* y un *ser*: El hacer es la función, son los procesos de investigación; y el ser, se refiere a la estructura, la cual está conformada por el conocimiento científico.

Todo lo que involucra el ejercicio de investigación del científico, con sus laboratorios, aparatos y medidas, métodos y técnicas, experimentos y observaciones, toma de muestras y análisis, indagaciones y exploraciones, colecciones, conferencias y publicaciones, formación de nuevos investigadores y entrevistas, por mencionar sólo parte del trabajo realizado, se refiere al *hacer*.

La *tecnología* a su vez, se constituye por dos partes en conjunto: por un *ser* o cuerpo de saber, que es el conocimiento científico producido por la ciencia, y por un *hacer* aplicativo utilitarista. El quehacer tecnológico busca en los bancos de información de la ciencia, eminentemente formados por las revistas científicas de alto impacto, el conocimiento especializado que requiere para resolver una situación particular del mundo real. Se utiliza el término *mundo real* o contexto, para significar el mundo cotidiano de la gente, la industria y los negocios (Figura 5.1).



CIENCIA Y TECNOLOGÍA

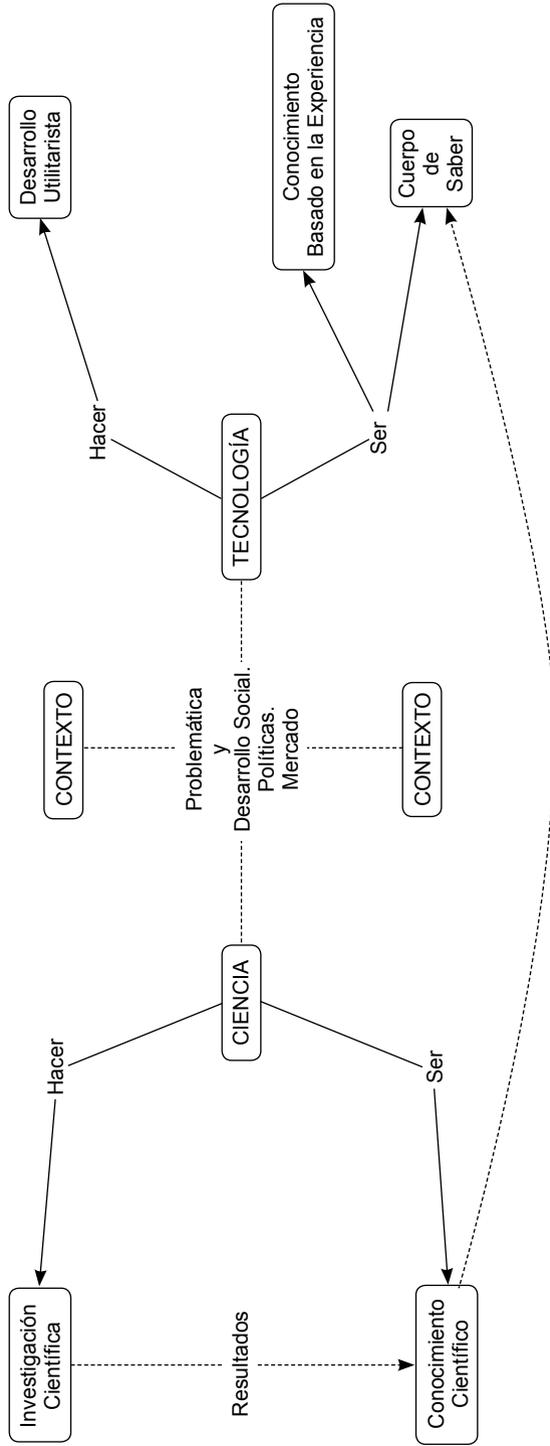


Fig.5.1. Contexto de la ciencia y la tecnología.

Búsqueda del conocimiento: ensayo-error

La búsqueda de conocimiento nace de la curiosidad. No es azarosa, sino directa; no es desorganizada, sino sistematizada; es imaginativa, pues permite recrear una estructura o un proceso naturales, hasta el momento desconocidos y sólo sospechados por el investigador y, apoyarse en el conocimiento y prácticas existentes para demostrar o refutar su realidad.

La búsqueda de conocimiento es un continuo autoaprendizaje, mejorando el método, la forma de aproximarse y entender los problemas por *ensayo-error*: Ensayando-errando-corrigiendo, ensayando-errando-corrigiendo y así sucesivamente, de tal manera que la práctica persistente de esta conducta le ha permitido al ser humano convertir la forma de tratar de entender las cosas en una búsqueda metódica y sistematizada, logrando mejores resultados.

Cabe destacar que los organismos vivos, cualesquiera que sea su especie, conocen el medio que habitan mediante un comportamiento de ensayo y error semejante al del hombre por el cual aprenden a sobrevivir. También muchos organismos fabrican instrumentos y estructuras; sin embargo, la diferencia entre el hombre y los demás seres, es que el primero diseña instrumentos para conocer y sobreponerse a la naturaleza, o para construir nuevos y más sofisticados instrumentos. Asimismo, el hombre modifica su ambiente e ingenia aparatos para incursionar en ambientes hostiles y colonizarlos.

Los seres humanos diseñan prótesis para miembros u órganos perdidos —como brazos, piernas o corazón—, pero han llegado aún más lejos al crear instrumentos que han devenido en verdaderas **prótesis cerebrales**: las computadoras. Estos aparatos le han ayudado al hombre a ordenar y almacenar la vasta producción de conocimiento acumulado, algo que manualmente no hubiera sido posible hacer. Asimismo, las computadoras han auxiliado en la realización de cálculos complejos que tomaría años correr con regla de cálculo; han tomado un lugar irremplazable en la automatización de equipos que ayudan a respirar a un enfermo o a navegar a una nave espacial y, entre muchas otras cosas, han servido para la creación de inteligencia artificial y autónoma.



La idea que se hace la mayoría de las personas sobre el mundo, está basada en creencias míticas y religiosas, así como en experiencias de índole práctica, ya sean personales o de grupo, que permiten a los humanos cierto nivel de entendimiento y de sobrevivencia en su entorno. Las vivencias importantes de algunas personas pueden transmitirse oralmente o por escrito y por tanto, pueden conservarse a través de varias generaciones para beneficio de la comunidad o de otras sociedades. No se pone en duda su *verdad*, sencillamente sirven y permanecen, o no sirven y se olvidan.

Para algunas personas el mundo suele tener dos caras, la natural y la sobrenatural. La natural se refiere a todo aquello que se puede percibir a través de los sentidos; mientras que la sobrenatural es aquella que se intuye y acepta como una presencia inexplicable (indefinida). Para esta clase de personas los conceptos de objetividad y subjetividad carecen de sentido. Sus pensamientos sobre lo natural y lo sobrenatural forman parte de su estrategia de sobrevivencia y no los cuestiona. Tampoco los separa y a veces los confunde inconscientemente o los mezcla a propósito. Es como planear su proyecto de vida dejando una parte a la suerte y otra a sus propios deseos.

En contraste con lo anterior, hay elementos reales en la naturaleza que son inexistentes para el neófito o que le parecen irreales y hasta ficticios, producto de la fantasía. ¿Cómo abordarlas sin perder la objetividad? ¿Cómo puede un joven, que proviene de un medio familiar común, cambiar esa forma de ver las cosas?

A la comprobación de la idea de que un modelo teórico es igual al fenómeno que se está analizando y observando, se la denomina *verdad* y, mientras más exacta sea esa verdad, más objetiva será la búsqueda.

Objetividad y subjetividad son dos ideas diametralmente opuestas. Mientras más objetiva sea la búsqueda, más credibilidad y confianza se tendrá en el resultado; pero si hay una separación de la objetividad, la información ofrecida puede caer en diferentes ámbitos, a saber: fe, conocimiento ordinario,seudociencia o charlatanería.



El investigador convencional generalmente no se preocupa de ello, conoce tan bien su disciplina que cualquier cosa que le parezca extraña la tomará con mucho recelo. Es decir, se apega a un marco de conocimiento aceptado que difícilmente lo pone en duda. El mundo para un investigador, se asemeja a lo que es mirar a través de un microscopio o un telescopio o un escáner: sólo lo que está dentro del campo visual es lo que vale, porque existe un soporte de conocimiento que lo explica, y todo aquello que está fuera de ese campo visual queda para la especulación.

Normalmente, el común de los investigadores no pierde el tiempo especulando, por el contrario, dedica todo su talento a plantear y resolver nuevas dudas que le son sugeridas por el problema que acaba de solucionar. Sin embargo, los científicos de larga experiencia suelen incursionar en esos campos desconocidos de la especulación y atreverse a sugerir o proponer extrañas cosas para explicar fenómenos que aún no distinguimos o ignoramos su existencia.



Los científicos hasta antes de la Segunda Guerra Mundial, creían que el propósito central de la ciencia era la resolución de los problemas de la sociedad y el bienestar de la humanidad. Con el advenimiento de la *gran ciencia*, a partir del Proyecto Manhattan, donde más de 200 mil hombres participaron en el desarrollo de la bomba atómica, esa idea cambió. Ahora la investigación científica forma parte de la lucha estratégica y político-ideológica de las naciones más poderosas, así como del control mundial del mercado global y de los recursos naturales a manos de las grandes corporaciones.

La búsqueda del conocimiento se inicia en este escenario de ideas y creencias, que ha ido trascendiendo a través de un quehacer cada vez más especializado y complejo denominado: *investigación científica*. Históricamente, los primeros investigadores plantearon que el propósito de la investigación científica era resolver los problemas de la humanidad. Con el desarrollo de la llamada *gran ciencia* o *súper ciencia* eso cambió, ahora la investigación científica forma parte de la lucha político-ideológica y por el control mundial de las grandes corporaciones privadas, asociadas también a los países desarrollados, lugares

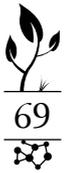
donde se realiza la mayor parte de esta actividad, con el claro objetivo de obtener riqueza y poder.

La investigación como búsqueda organizada

La investigación científica es la actividad que los científicos desempeñan en el campo de la ciencia y al producto de esa actividad se le denomina *conocimiento científico*. La investigación científica consiste, simple y llanamente, en la búsqueda de conocimiento por el hombre a partir del hombre mismo y en todo lo que le rodea, tanto a nivel microscópico como macroscópico.

La investigación científica y el conocimiento científico —de manera conjunta— constituyen lo que llamamos *ciencia*, que es la más grande empresa intelectual de la humanidad en toda su historia. Por tal motivo, en la actualidad la ciencia es uno de los pilares fundamentales de la cultura y es la base del progreso y el desarrollo a través de la tecnología y sus aplicaciones.

Pero, ¿cómo se investiga en México y qué se produce? ¿Cuál es el papel de la ciencia mexicana en la investigación agrícola?



La ciencia en México

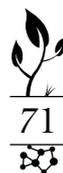
Primeros pasos

La historia de los primeros pasos hacia la institucionalización de la ciencia en México asemeja una obra tragicómica, donde se advierte mucha retórica y poca acción. Rosalba Casas da buena fe de ello en un pequeño texto publicado por la UNAM en 1985. La autora señala tres etapas en el crecimiento y desarrollo del fenómeno científico en México.

La primera etapa comprende los años que van de 1924 a 1940, en los cuales el Estado da las primeras muestras de interés por el desarrollo científico del país. La segunda se dio entre los años 1940 a 1970, donde el concepto de *desarrollo científico* ya forma parte del discurso oficial. La tercera etapa, fue en 1970, momento en que se institucionaliza el quehacer científico nacional con la fundación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. ¿Pero qué ocurrió entre 1924 y 1970? ¿Cuáles son los antecedentes de estas tres etapas?

Rosalba Casas considera que algunos antecedentes en el interés de las autoridades gubernamentales por las ciencias acontecieron en 1869, cuando la Ley Orgánica de la Instrucción Pública, de 1867, estableció que en la enseñanza deberían difundirse las ciencias exactas. Pero en 1870 se derogó esa ley y la enseñanza de las ciencias no se llevó a las aulas. En el siglo XX, pasada la Revolución Mexicana, sociedades científicas civiles, como la Sociedad Científica Antonio Alzate, plantearon al gobierno la necesidad del: "...desarrollo y fomento de las investigaciones científicas, tanto de índole pura, como de las numerosas y fructíferas (ciencias) aplicadas".

En 1927, la misma sociedad científica propuso la creación del Comité Permanente para Promover las Investigaciones Cien-



tíficas en México, donde participarían funcionarios públicos y representantes de la sociedad. La preocupación provenía de los investigadores mexicanos que, en su gran mayoría, eran personas que con recursos propios o de las sociedades científicas a las que pertenecían, sufragaban los costos de sus investigaciones. Ellos veían que el país se encontraba demasiado atrasado en cuestión de desarrollo científico con relación a otras partes del mundo y que la única manera de contender contra este atraso, sería con el apoyo y colaboración del gobierno.

Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica

En la década de los treinta, el presidente Lázaro Cárdenas asocia la necesidad de la investigación dentro del acontecer de la enseñanza universitaria y se da cuenta de que el Estado debe participar en la organización, mantenimiento, y sobre todo, en el estímulo de la investigación científica. El proyecto era poco viable ya que desde 1928, la Universidad Nacional y el gobierno federal se encontraban en una situación conflictiva, la cual se agravó cuando en 1934, con la reforma del artículo tercero de la Constitución, se pretendió extender la educación socialista a las cátedras universitarias, pues ésta iba en contra de la autonomía y la libertad de cátedra.

La idea que planteó Cárdenas durante su gobierno (1934-1940), era la de conocer nuestro territorio, nuestros recursos naturales y su potencial a través de la investigación científica, con el objetivo de asegurar mejor su uso y aplicación de ellos para prosperidad de los mexicanos. Idea que los ingleses lograron llevar a cabo sistemáticamente desde el siglo XVII y los estadounidenses desde el siglo XVIII.

No obstante que la idea procedía del más alto representante de la nación, no se hizo efectiva hasta 1968, con la creación de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), que en 1970 se convirtió en la Comisión de Estudios para el Territorio Nacional (CETENAL), mismo que se transformó en 1980 en la Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL).



En la historia mexicana hay numerosas iniciativas y cambios en las oficinas geográficas del país. Una mirada al pasado inmediato registra la evolución de las instituciones.

INEGI

Esto nos da una idea de la actitud veleidosa e irresponsable con la que los destinos de México se han llevado a cabo durante tantos sexenios de gobierno.

Así, Lázaro Cárdenas creó por decreto en 1935, el Consejo Nacional de la Educación Superior y de la Investigación Científica, entidad que proyectó al Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales (desaparecido alrededor de 1990), al Instituto Nacional de Investigaciones Científicas y el Museo Nacional de la Industria.

Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica

Volviendo al aspecto del desarrollo científico, en 1941, dentro de la Secretaría de Educación Pública, el gobierno del presidente Manuel Ávila Camacho creó la Dirección General de la Educación Superior y la Investigación Científica. A su vez, esta dirección creó un Departamento de la Investigación Científica, cuya encomienda era coordinar las actividades de la investigación y los modos para la explotación de los recursos naturales de la nación. Este departamento formó, a su vez, un Comité Central de Coordinación de la Investigación Científica, de donde surgió la Comisión Nacional de Investigación Científica. Dicha Comisión presentó al presidente de la república un plan para organizar y reglamentar la investigación científica de México, que al parecer fue tomado como base para crear la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC). En pocas palabras, los burócratas se fueron pasando “el bulto” de la investigación científica porque —y lo digo en serio— no sabían que era ni como se comía (Fig. 6.1).



Los vocales que conformaban la CICIC no podían ponerse de acuerdo en que rumbo tomar. Surgieron dos posiciones: una decía que al científico no le interesaba la fama y el dinero, sino que únicamente era guiado por la curiosidad y el afán por conocer la verdad; mientras que los otros aseguraban que el científico había salido de su cascarón y que su quehacer era de extrema importancia para la sociedad. Prevaleció la opinión del primer grupo y ésto, según Casas, “fue un factor que contribuyó al fracaso de los organismos de política de la ciencia creados por los diferentes gobiernos” durante un período de 35 años: de 1935 a 1970.

Instituto Nacional de la Investigación Científica

En 1950 se fundó el Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC), dejando atrás a la CICIC, y guiados por el objetivo de:



Fomentar, desarrollar y coordinar las investigaciones que se realicen en el país; promover el uso racional y conservación de los recursos naturales; coordinar los programas de investigación de las distintas dependencias del gobierno federal; establecer y sostener en colaboración con las empresas industriales y agrícolas del país, nuevos laboratorios de investigación científica para el estudio de los problemas de la industria y de la agricultura; establecer y sostener laboratorios e instituciones de investigación en las ciencias puras [...] para el desarrollo científico [...]; colaborar en la formación de investigadores y técnicos; estimular la publicación y difusión de los resultados de la investigación científica; mantener un inventario de todas las investigaciones que gozan de un apoyo federal [...].

En 1961 el gobierno federal reformó al INIC y le asignó un presupuesto de un millón y medio de pesos. En 1970, cuando ya contaba con siete millones de pesos de presupuesto, lo desapareció. En la obra *Política Nacional y Programas en Ciencia y Tecnología*, el INIC explica sucintamente cuales fueron las causas qué le afectaron para no cumplir con su cometido:

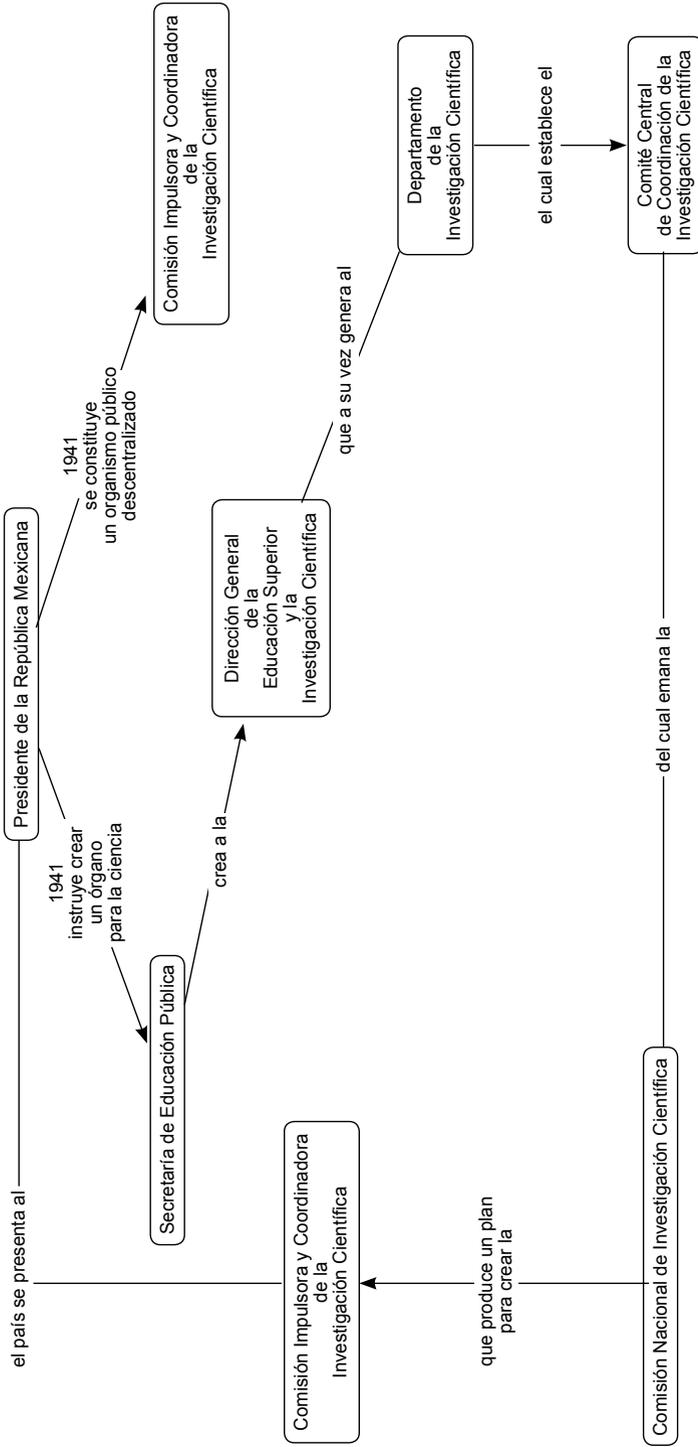


Fig.. 6.1. Creación de la C.I.C.I.C. 1942.

- Escasos recursos financieros asignados (de hecho, el Instituto Nacional de Bellas Artes INBA tenía un presupuesto inmensamente superior del INIC).
- Falta de autoridad.
- Ausencia de facultades para intervenir en la investigación aplicada (al campo y la industria).
- Carencia de masa crítica de científicos y tecnólogos (casi la totalidad de los científicos mexicanos de esa época se encontraban en la ciudad de México y dentro de contadas instituciones de educación superior; en cuanto a los tecnólogos, eran un grupo casi inexistente en el país).
- Falta de una política de Estado sobre ciencia y tecnología.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



A finales del año 1970 se decretó la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), cuyos comienzos fueron un tanto titubeantes e inciertos, pues una herencia de desaciertos le precedía, tal y como Edmundo Flores, tercer director de CONACYT (1976-1982), lo manifestó claramente cuando enunció: “Antes de 1970, el Gobierno Federal no había percibido con claridad la necesidad fundamental que tiene un Estado moderno de desarrollar una capacidad científica y tecnológica propia, indispensable para su desarrollo económico”.

El CONACYT tuvo su origen dos años después del movimiento estudiantil de 1968. De acuerdo con Flores, la institución tenía en ese momento la intención de entablar un diálogo con la comunidad universitaria afectada por los enfrentamientos con el gobierno, más que disminuir la dependencia científica y tecnológica de la nación. El presupuesto con el que comenzó CONACYT fue de 50 millones de pesos; presupuesto que aún era pequeño para cubrir todas las necesidades, pero que estaba muy por encima del que se le había otorgado al INIC. Sin embargo, para 1976 ya contaba con 467 millones de pesos. Entre 1971 y 1976 se fundaron 18 centros de investigación en distintos lugares del país.

En esa primera etapa, dirigida por Eugenio Méndez Docurro (1970-1972) y por Gerardo Bueno Ziri6n (1972-1976), CONACYT apoy6 a las ciencias b6sicas, se otorgaron cientos de becas y se crearon bancos de informaci6n especializada (SECOBI), con capacidad de acceso remoto (*online*) a otras bases de datos en Estados Unidos y otros pa6ses industrializados, para uso de investigadores y empresarios. Enzo Molina dice que cuando “el concepto actual de Internet empezaba a difundirse, SECOBI estuvo en la vanguardia promoviendo las primeras reuniones para organizar la red”.

La gesti6n de Edmundo Flores comenz6 con un presupuesto de 543 millones, mismo que se elev6 en 1982 a 4,748 millones. En esta etapa CONACYT extendi6 el apoyo a las ciencias aplicadas y la tecnolog6a, planteando la creaci6n de nuevas industrias y colaboraciones con la industria mexicana establecida. Se firmaron convenios intergubernamentales con 34 pa6ses y de cooperaci6n internacional con 37. Se puso especial atenci6n a la difusi6n de la ciencia y la tecnolog6a mediante la publicaci6n de libros —muchos de los cuales se tradujeron al espa6ol— y cuatro revistas para los cient6ficos, hombres de negocios y j6venes. Tres revistas fueron descontinuadas, pero la revista *Ciencia y Desarrollo* a6n existe y se ha convertido en un emblema de la instituci6n. Tambi6n se establecieron 11 librer6as para hacer llegar las obras a distintas regiones de M6xico, mismas que ya cerraron sus puertas.



No disponer en espa6ol de la literatura sobre ciencia y tecnolog6a a todos los niveles, lo mismo la cl6sica que la contempor6nea, tiene el adverso resultado de crear una comunidad cient6fica elitista y extranjerizante que inevitablemente se a6sla de su pueblo al tener que aprender su profesi6n en lenguas y culturas ajenas.

Edmundo Flores
Director de CONACYT, 1976-1982

El propósito de que CONACYT difundiera el conocimiento científico a través de revistas de cultura científica pero no especializadas, se debía a que en español no existía literatura de divulgación para informar y crear vocación, por lo que, basándose en el ideario de Vasconcelos, se percibió que la única manera de impedir que la ciencia y la tecnología se desvirtuaran, era injertándolas en la propia cultura nacional.

Este aspecto ha quedado rezagado de las expectativas de Edmundo Flores, pues con la creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en 1984, que evalúa a los investigadores de acuerdo con la producción de artículos científicos y su publicación en revistas internacionales de alta calidad en lengua inglesa, los científicos se concentraron en la redacción de esta clase de textos y en mandarlos al exterior para su publicación. Lo anteriormente señalado afectó en gran medida las posibilidades de que algunos científicos hicieran el esfuerzo de divulgar su conocimiento en español.

Otra de las características de la gestión de Flores fue la de normar las actividades científicas nacionales en función de las necesidades de la sociedad, partiendo de la priorización de problemas nacionales y regionales y, orientando un rumbo concreto. Como estas medidas iban en contra del criterio de muchos científicos mexicanos, en el sentido de que consideraban que ninguna persona o institución debía indicarles que investigar, ni de que modo hacerlo o en que tiempo realizarlo, y aún menos, a que costo, se avino varios enemigos.

Con la llegada del cuarto director de CONACYT, Héctor Mayagoita Domínguez (1982-1988), la política científica de Flores, de “corte soviético”, como acusaron algunos, fue hecha a un lado y se adoptó, muy ad hoc al neoliberalismo inaugurado en ese sexenio, un esquema que dejaba las puertas abiertas a los científicos para que hicieran la investigación que su sano juicio les indicara.

En sí, el CONACYT en colaboración con las instituciones de educación superior —principalmente la UNAM y el CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional—, junto con las universidades públicas estatales y centros de investigación, ha dado en casi 40 años de existencia, un gran paso en la for-

mación de recursos humanos de alto nivel, en la ampliación y regionalización de la infraestructura para la investigación y en el desarrollo de investigaciones de toda clase. Desafortunadamente, el sector privado sigue brillando por su ausencia en esta actividad tan importante para la nación y del sector de la sociedad que representa, a la vez que sigue dependiendo de tecnologías obsoletas. Los esfuerzos realizados durante tantos años y que todavía continúan para colaborar con el sector privado en el desarrollo de tecnologías alternativas, nuevas tecnologías o estimular la innovación, no han fructificado.

Los investigadores mexicanos

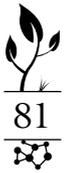
Sistema Nacional de Investigadores

El Sistema Nacional de Investigadores (SNI) se estableció por acuerdo presidencial en el año 1984, con el objetivo de “fortalecer y estimular la eficiencia y la calidad de la investigación en cualquiera de sus ramas y especialidades, a través del apoyo a los investigadores de las instituciones de educación superior o de los centros de investigación”.

Se atribuye la autoría del proyecto de creación del SNI a Salvador Malo, quien a finales de 1983 fungía como director de investigación del Instituto Mexicano del Petróleo y asesor del secretario de la Secretaría de Educación Pública, Jesús Reyes Heróles. ¿Cuál era el propósito que anidó esta propuesta? A decir de Malo, proveer: “una forma simple de apoyo a la ciencia en México: identificar, por medio de comités formados por científicos reconocidos, a aquellos investigadores que de veras investigaban y dar a éstos un reconocimiento mensual, indexado según su producción científica, consistente en uno, tres, o cinco salarios mínimos”.

La creación del SNI también significó, de acuerdo con González Rubí, la “incorporación de nuevos actores” en el campo de la política mexicana, además de que sus reglas “constituyeron la implantación de un modelo profesional para el desarrollo de la investigación” en instituciones de educación superior y centros de investigación.

Sin duda alguna, México posee en la actualidad una envidiable masa crítica de científicos, de la cual, muchos de ellos son de talla internacional y otros tantos están en la batalla por



alcanzar ese nivel. Sus credenciales como investigadores son incuestionables, el rigor del sistema de evaluación y certificación lo confirma. Pero aunque saben investigar, buena parte de ellos no podrían encontrar fuentes de financiamiento para sus proyectos más que las otorgadas por CONACYT o por la SEP, y mucho menos vivir sin hacer lo que están haciendo, es decir, que fuera de la universidad o del centro de investigación, su experiencia como científicos no les es del todo útil como sí lo es la praxis profesional del médico o del ingeniero.

Por otro lado, en algunos contados casos que nos ha tocado conocer, en los que los investigadores por algún motivo dejaron a la institución que los acogía, se dedicaron a la consultoría en su área de conocimiento, o tristemente, a negocios de cualquier clase, pero nunca a la investigación privada para una asociación o alguna empresa particular.

Al año 2010, el SNI cuenta con 16,598 científicos certificados en siete grandes áreas del conocimiento y, de acuerdo a la calidad y cantidad de su producción intelectual, están estratificados en cuatro niveles: candidato a investigador, investigador nivel I, II y III. Sin embargo, ni siquiera 1% del total de científicos acreditados por este sistema son *investigadores empresarios*, por llamarlos de alguna forma; es decir, casi no hay investigadores certificados dentro del SNI que hagan investigación para alguna industria privada.

Además, el grado de vinculación que a nivel individual o institucional tienen los científicos pertenecientes al SNI con la industria privada —de cualquier clase que sea, llámese metal mecánica, mecatrónica, agrícola, forestal o alimenticia, por mencionar sólo algunas—, es casi inexistente. De acuerdo con Zozaya, de esta enorme comunidad de científicos “solamente un 2.8% de la innovación de producto y 3.6% de la innovación de proceso proviene de la vinculación entre la empresa con institutos o universidades”.

La brecha entre los que generan conocimiento y los que utilizan la tecnología para producir bienes para el desarrollo o el consumo, es tan amplia y profunda —quizás insalvable—, que los datos que presenta Zozaya, hacen parecer a los eternos llamados a la vinculación entre la universidad y la industria,

un eco que resuena desde los años treinta del siglo XX, lo que se evidencia con los siguientes datos:

- 71% de las fuentes de financiamiento para los proyectos de innovación las realizan las empresas con recursos propios.
- Solamente 13% de la innovación se financia con crédito de instituciones bancarias.
- 82% de la innovación en producto y 75% de la innovación en proceso, las realiza la empresa con sus propios recursos y capacidades humanas.

Castellanos Guzmán menciona que a excepción de universidades como la Nacional de México, la Metropolitana, la Autónoma de Nuevo León, la de Puebla, la Guadalajara y la de Colima, “no han contado con suficiente capacidad de investigación para ofrecer soluciones tecnológicas a los problemas de la industria”.

Ahora bien, en la comunidad del SNI se habla mucho del factor de impacto de las publicaciones de sus miembros. El *factor de impacto* es un parámetro que se basa en el número de veces que un artículo científico publicado en una revista especializada, catalogada por el Instituto de la Investigación Científica (ISI por sus siglas en inglés), mismo que se considera el mejor instituto del mundo en cuanto a investigación científica se refiere, es citado por otro autor, que también está publicando en la misma (o en otra) revista de ese catálogo. Cuantas más veces se cite el trabajo del investigador en esa clase de revistas, más aumenta el puntaje que obtiene en las evaluaciones del SNI y, por tanto, también incrementa su prestigio internacional.

Trabajar con una empresa para coadyuvar en la innovación de procesos o desarrollo tecnológico, sobre todo cuando no hay un camino trazado, no reditúa las ventajas que publicar en revistas de midan el factor de impacto. Además, la libertad que tiene el investigador dentro de su institución, se convierte en un compromiso cuasi matrimonial que le ata de manos para realizar lo que mejor le convenga cuando colabora con una empresa.



Si la población de México es, según los datos preliminares del Censo 2010, de 122 millones de habitantes, resulta que en el país hay sólo un investigador certificado por cada 7350.28 habitantes.

No cabe más que preguntarse, ¿el factor de impacto, impacta al desarrollo de la nación o sólo impacta al desarrollo individual o institucional? Y esta pregunta surge al darnos cuenta de que por ninguna parte se ven aportaciones efectivas para la solución de problemas o para el desarrollo

de la sociedad. Sin duda existen algunas aportaciones, pocas y aisladas, pero nada que represente de manera significativa a los 16,598 científicos, que al parecer se preocupan más por impactar a sus disciplinas —con hipótesis, teorías y modelos, entre otras— y por sus evaluaciones periódicas, que por la búsqueda de soluciones a los grandes problemas nacionales.

Innovación y desarrollo

Así como la producción de investigación científica se mide por el factor de impacto de los artículos publicados en revistas indexadas en el Instituto de la Investigación Científica, la invención se mide con indicadores similares, que son las patentes y que las registra la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI).

La lista de clasificación de la invención mundial refleja la *capacidad nacional de innovación*, que es definida como “el grado en el cual una nación ofrece un ambiente favorable al mundo de la frontera tecnológica”. La medición toma en cuenta la fortaleza de los grupos de universidades y compañías innovadoras.

Según la revista *Technology Review* de MIT, en el año 2003 se registraron en Estados Unidos al menos 2.2 millones de patentes. En contraste, para el mismo periodo, en México sólo se registraron 115 patentes, de las cuales 11 eran nacionales y 104 de compañías extranjeras; es decir, que se generó una patente por cada 10 millones de habitantes. Para el año 2005, México registró 8,098 patentes, de las cuales únicamente 131 eran mexicanas. En el año 2006 el registro de patentes en México fue de 9,632 no mexicanas y 252 mexicanas. En 2007, el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual registró 9,957 patentes, de las cuales solamente 199 eran mexicanas (Tabla 7.1).



Tabla 7.1. Patentes registradas en México

Año	Mexicanas	Extranjeras
2003	11	104
2005	131	7, 967
2006	252	9, 632
2007	199	9, 756

Definitivamente algo estamos haciendo mal en México, pues de acuerdo con datos que aportó José Narro Robles, rector de la UNAM, en la conferencia *Perspectivas de la educación superior en México*, presentada en junio de 2010 y en la cual comparó al país con 133 naciones del mundo, ocupamos las siguientes posiciones (Tabla 7.2):

Tabla 7.2. Posición de México ante el mundo
Comparativo con 133 países

Tema	Posición Global
Economía	15
Competitividad	33
Desarrollo humano	53
Generación de patentes	60
Investigación científica	65
Gestión privada	78
Innovación	80
Adquisición de productos de alta tecnología	93
Disponibilidad de científicos e ingenieros	94

En una población de 122 millones de habitantes, uno de cada dos mexicanos viven en condiciones de pobreza, uno de cada cinco se encuentra en situación de pobreza extrema y menos de 25% de los jóvenes mexicanos ingresan a la universidad.

Ya han transcurrido 75 años de la primera iniciativa gubernamental de impulsar a la ciencia y fomentar el desarrollo tecnológico y los resultados, como hemos visto, han sido vanos. Hoy vemos que la investigación científica se lleva a cabo en instituciones asociadas directamente a la educación superior y que el desarrollo tecnológico —lo exiguo que hay— en una que otra

empresa descentralizada del gobierno que todavía existe y en la industria privada. La vinculación Universidad–Empresa para el desarrollo tecnológico es únicamente un discurso retórico.

¿Es qué no hay otra manera de vincular la ciencia con el desarrollo tecnológico más que el camino trazado desde un principio? ¿Es qué no existen otras rutas que el manido esquema Universidad–Empresa?

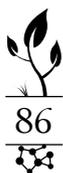
Investigación civil

El lector se podrá preguntar, ¿Y para qué quisieran las empresas hacer investigación? Como inicio, para mejorar sus procesos y para conocer e implementar los nuevos; para identificar alternativas de desarrollo a mediano y largo plazo, para innovar y convertirse en una empresa más competitiva.

Hasta la fecha, la investigación científica del país ha sido financiada casi en su totalidad por el erario público. Los empresarios mexicanos siempre han tenido desconfianza de los investigadores del país —esa es la verdad—. Los considera completamente enfocados en su quehacer y poco prácticos para resolver problemas reales, que sin duda se preguntan que podrían ofrecer los investigadores si nunca han trabajado en una empresa como la suya y, a veces, sólo conocen los procesos a nivel de ecuación o de laboratorio; considerando también, que ante una situación determinada apelan únicamente a su conocimiento básico, mientras que lo que se requiere es conocimiento aunado a experiencia.

Ante esta situación aparentemente sin solución, nosotros pensamos que sí hay otro camino, que la *investigación no-académica* para el desarrollo es una figura que ya existe y cuyo modelo debe analizarse, entenderse y multiplicarse. A esto le denominamos, para distinguirla de la investigación académica, *investigación civil*.

La investigación civil era la que en un principio se ejercía en México, cuando la universidad aún no tenía otro papel más que el de educar, y se desarrollaba en laboratorios privados, en claustros de conventos o incluso, en el ático de la casa.



Sin duda, ésto sonará demasiado pasado de moda al científico ortodoxo o quizás podrá pensar que está fuera de lugar en este mundo contemporáneo, sin embargo, no es así, ya que la investigación civil, bajo el concepto propuesto, es aquella que también desarrolla la propia industria dentro de sus límites y sin la intervención de expertos universitarios. La diferencia es que este tipo de investigadores no anda en busca de papeles que lo reconozcan, sino de soluciones prácticas a problemas reales o ideas que se pretendan desarrollar.

Existen notables científicos, como James Lovelock, que desistieron de la investigación academizada por los compromisos y obligaciones que le imponía la universidad, por lo que decidió llevar su trabajo a casa. Más adelante se verá con mayor detalle lo que significa la investigación civil y la importancia que puede tener para impulsar la investigación y el desarrollo de las empresas.

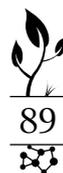
Sin embargo, cabe enfatizar que muchos ingenieros mexicanos han estado desarrollando inventos que terminan en patentes, aquí, en México, bajo las condiciones mencionadas de investigación civil. Este trabajo lo hacen para corporativos extranjeros, como Delphi en Ciudad Juárez, por lo que las patentes se registran como producto del país de origen a donde pertenecen dichos corporativos.



Modelo Universidad-Empresa en la innovación y el desarrollo de la tecnología en México

El desarrollo de nuestro país se ha caracterizado por la ausencia de un proceso de cambio concomitante en el terreno científico y tecnológico. En estas circunstancias, la mayor parte de las innovaciones tecnológicas que se han venido incorporando a los sectores productivos han tenido que obtenerse y continúan obteniéndose del exterior, particularmente en lo que se refiere a la industria extractiva, la industria de transformación, la infraestructura física, las comunicaciones y los transportes.

M. de María y Campos



Tecnología y subdesarrollo

La tecnología empleada en México en la industria nacional de transformación es por regla, tecnología importada. Esta clase de tecnología suele ser anticuada u obsoleta, por lo que la mayoría de esas empresas carecen de competitividad en el plano internacional.

En cambio, la denominada industria maquiladora, en su carácter de industria extranjera, introduce al país insumos para el ensamblaje de toda clase de artefactos, desde lavaplatos y aspiradoras como es el caso de Electrolux, hasta instrumentos oceanográficos y meteorológicos de la empresa Lockheed Martin para portaviones y submarinos nucleares, donde toda la tecnología

que emplea es también importada. Cabe mencionar que por algún motivo infundado, cuando la industria maquiladora arribó al país, se extendió la errónea idea de que al instalarse iban a transferir su tecnología. ¡Nada más lejos de esa creencia!

El nivel de competitividad de los corporativos a los que pertenecen muchas de las maquiladoras es de talla mundial, como es el caso de Delphi Automotive, Philips, Visteon Co., Sony, General Electric, Sumitomo, Thomson Inc., Honeywell Inc., Ford, Nissan, Siemens, Mallinckrodt, Samsung, Motorola Inc., Bosch Group, Mattel, LG Electronics, Hyundai Motor Co., Avery Dennison, Scientific Atlanta Inc., Avail Medical Products, Trico Tech Inc., Schlage, Skyworks Solutions Inc., DuPont, AT&T, Sanyo, Lockheed Martin Sippican, Toshiba, Nokia, Kimball Int., entre muchas otras.

Una vez ensamblados, la industria maquiladora está obligada a exportar sus productos a donde tenga planeado. Por ley, ni una parte de esos productos puede quedar en México, mucho menos el conocimiento tecnológico. Además, debe saberse que una vez que cualquiera de esas empresas decide cerrar sus puertas y trasladarse a otro lugar o simplemente desaparecer, tal y como a sucedido con frecuencia, nada de la tecnología utilizada por esa maquiladora queda en el país.

La industria maquiladora existe en México desde 1966 —año en que se instalaron en Ciudad Juárez las primeras 12 empresas y de ahí en adelante su número ascendió hasta sobrepasar las 3,000 en la década de los noventa—; en contraste, las primeras industrias mexicanas datan del siglo XIX. En más de 130 años, se han generado muy pocas industrias mexicanas que estén basadas en un desarrollo tecnológico propio.

Desde el período Cardenista (1934–1940), cuando en México comenzaron a fundarse universidades y tecnológicos a lo largo y ancho del país, proceso que a pesar de sus altas y bajas nunca se paralizó y sigue hoy día creciendo, se han creado más de 3,000 instituciones de educación superior de carácter público y privado. Menos de diez naciones en el mundo pueden decir que poseen tal cantidad de universidades para formar a su pueblo.

La idea de aquella época, que hoy sigue siendo más válida que nunca, era que los profesionistas universitarios se incor-

poraran al desarrollo y transformaran la nación en todos los frentes; esto es, que redujeran o acabaran con la dependencia agropecuaria, energética, tecnológica, científica, cultural y de cualquier otra clase.



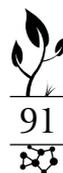
Si se examinan las diversas etapas que México [...] ha recorrido en su proceso de industrialización, se observa que en todas ellas se ha fomentado, por circunstancias históricas estructurales, una demanda externa en vez de ejercerse una presión interna sobre los recursos científicos y tecnológicos nacionales.

M. de María y Campos Economista Agrícola

La dependencia alimentaria se redujo casi hasta desaparecer en la década de los sesenta, cuando la *revolución verde* de Norman Borlaug surgió en este país. Lo mismo ocurrió con el secular analfabetismo, que retrocedió hasta casi desaparecer. El desarrollo de infraestructura urbana y caminos interestatales se hizo con ingeniería propia, aunque utilizando maquinaria importada. La comunicación telegráfica y telefónica, cuyas redes comenzaron a diversificarse desde el período posrevolucionario, también fue obra de mexicanos. La industria textil pasó de artesanal a mecanizada y los ingenios azucareros se modernizaron. Sin embargo, en la industria nacional de transformación nada cambió y siguió utilizando tecnología de segunda o tercera mano, barata y sin mucho artificio para entenderla y hacerla funcionar.

Al año 2010, tan celebrado por conmemorar el bicentenario y centenario de dos de los mayores sucesos históricos del país, la dependencia y los rezagos en todos los campos anteriormente mencionados es alarmante; se importan alimentos, gas y gasolina, maquinaria, equipos y herramientas para laboratorios y hospitales, y el analfabetismo, muestra la mayor tasa de los últimos sesenta años.

¿Por qué los ingenieros, químicos, médicos o agrónomos, por mencionar algunos profesionistas, no jugaron en la industria de sus ramos el rol transformador o innovador que se esperaba de ellos?



La explicación a esta pregunta escapa a los propósitos de este libro, pero es conveniente señalar que por convertirse cada uno de ellos en engranajes de las empresas automotrices, mineras, agroquímicas, acereras, farmacéuticas o de cualquier otro tipo, la tan anhelada independencia tecnológica, pretendida por algunos intelectuales y líderes políticos con visión, prácticamente se esfumó conforme los profesionistas se iban acostumbrando al trabajo técnico; es decir, a la praxis de sus profesiones.

La cultura del *¡mande usted!*

Al año 2010, independientemente del constante aumento en el número de universidades e institutos tecnológicos en el país, a pesar de que abundan los profesionales de las ciencias y de las ingenierías, y de que existen miles de mexicanos que se educaron en universidades de países desarrollados y heroicamente retornaron a su patria, el papel de innovadores y creadores de nueva tecnología que se espera lleven a cabo, es una deuda que se tiene aún pendiente, ¡Y ya no se les pide a los graduados universitarios, sino a los que con posgrados y entrenamientos posdoctorales se formaron como científicos y son expertos en la generación de nuevo conocimiento!

¿Es culpa de ellos? No lo creemos así, en lo absoluto, porque desde la formación básica hasta la universitaria, nunca nos inculcaron la creatividad, el pensamiento analítico y crítico, la independencia intelectual, la generación de ideas y proyectos, el análisis y resolución de problemas, el valor del conocimiento empírico, el mérito que tiene el aprendizaje autodidacta y el saber de la experiencia.

Por el contrario, se nos obligó a aceptar dogmáticamente la información contenida en los libros de texto, a no discutir sobre lo que creíamos que estaba equivocado, a no replicar a los maestros ni a *nuestros mayores*, a considerar como verdadero lo que publicaban los periódicos y decían en la televisión, a creer que quien tiene títulos universitarios posee el conocimiento y la autoridad, a decir *¡mande!* o *¡mande usted!* cuando alguien nos hablaba, eterno recordatorio de la ancestral sumisión del

mexicano. A eso le llamamos el “síndrome del Pípila”, pues esta carga cultural se asemeja a llevar una pesada losa atada a la espalda que impide avanzar por uno mismo.

Universidad-Empresa

El modelo Universidad-Empresa fue ideado con la intención de fomentar la interacción entre las instituciones de educación superior y la actividad empresarial. El objetivo central fue el de impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico con la sinergia de un creador de conocimiento y un usuario de tecnología para la generación de artículos de diversa índole.

Además, de acuerdo con Castellanos, quien cita a Harbison, el móvil de esta iniciativa se debió a que “el problema básico de la mayoría de los países en vías de desarrollo no es la pobreza de sus recursos naturales, sino el subdesarrollo de sus recursos humanos”. Entonces había que cerrar la brecha científica y tecnológica que nos separaba de los países desarrollados.

La visión del modelo Universidad–Empresa tiene diferentes vertientes de interacción, como las siguientes:

1. La incursión de programas universitarios hacia el interior de algunas empresas para que los jóvenes aprendan in situ (estancias o *internships*).
2. Asesoramiento a empresas mediante la búsqueda y análisis de nueva información concerniente a su ramo.
3. Apoyo en la gestión de proyectos.
4. Apoyo en la gestión de patentes.
5. Estudios diagnósticos de campo y/o laboratorio.
6. Ayuda en la transferencia de tecnología hacia el interior de la empresa.
7. Preparación de jóvenes universitarios para que puedan desarrollar, después de adquirida su educación profesional, una empresa con bases científicas.
8. Otras.



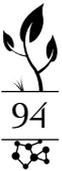
Debe señalarse que no todas estas actividades se llevan a cabo entre las entidades cooperantes, pero la lista muestra algunas de las cosas que el binomio mencionado puede hacer.

Se supone que en este modelo las universidades y los tecnológicos son las instituciones que poseen el más nuevo conocimiento en ciencia y tecnología, y que coadyuvarán con la empresa para el desarrollo de nuevos procesos y actualización o aceleramiento de los que posee.

Vale preguntarse si las relaciones establecidas entre la universidad y la empresa han conformado un modelo de éxito en México.

La respuesta es que el esquema Universidad-Empresa no funciona en este país. Para complicar un poco más este “matrimonio incompatible”, algunos científicos recomiendan un *ménage à trois* y aconsejan acercarse al esquema de la *Triple Hélice de la Innovación*, expuesto por Henry Etzkowitz y J.M. Carvalho, pues, a decir de estos investigadores —que jamás han salido de la academia—, “puede ser prometedor para nuestro país”.

La nación mexicana no es una sociedad basada en el conocimiento, sino en la política.



¿Y en qué consiste la triple hélice de la innovación? En hacer una tríada con el gobierno para impulsar el desarrollo tecnológico nacional a través de la innovación. Según dichos autores, “la tesis de la triple hélice es que la interacción entre universidad-industria-gobierno representa la clave para mejorar las condiciones para la innovación en una sociedad basada en el conocimiento”, donde la empresa representa el *locus* de la producción, el gobierno es la fuente de las relaciones contractuales y garante de la estabilidad y, la universidad el surtidor de conocimiento.

En teoría suena fabuloso y le permite a cualquiera fantasear con mundos de ensueño, pero si en este país no ha podido funcionar en 50 años el modelo Universidad-Empresa, con toda seguridad no funcionará el modelo propuesto de la Triple Hélice Mexicana. Y es que debemos reconocerlo, nuestra nación no es una sociedad basada en el conocimiento, sino en la política.

El modelo del Empresario-Investigador

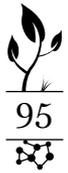
El tecnólogo empresarial no genera artículos científicos, como el científico académico con su ciencia; en cambio, con su tecnología produce “artículos de consumo”.

VGA

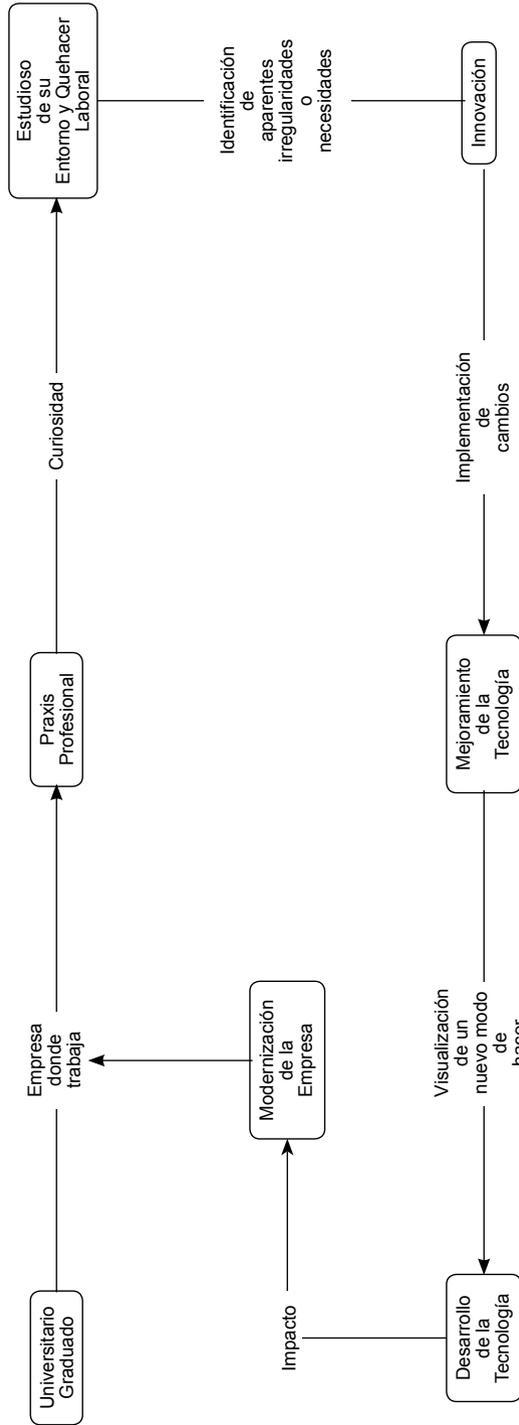
Empresario-Investigador

El *Empresario-Investigador* es el que siendo empresario también investiga para innovar y si sus capacidades se lo permiten, desarrollar tecnología. Lo guía el afán por mejorar su sistema de producción, el deseo de elaborar artículos de consumo de mayor calidad, la responsabilidad de eliminar o reducir riesgos potenciales, la conciencia ambiental por que su empresa impacte menos al ambiente y muchas otras razones más.

El *Empresario-Investigador* empieza siendo un universitario graduado, como cualquier otro en cualquier lugar, que realiza su práctica profesional. No abandona el estudio, así se transforma en autodidacta, y se convierte en un investigador de su quehacer. A partir del estudio comienza a innovar en la praxis, a perfeccionar ciertas técnicas o métodos que le dan mejores resultados que los que conocía. Lleva una bitácora sobre lo que hace, anota las fallas y los aciertos. Poco a poco, esas cualidades que posee lo hacen diferente, quizá hasta nuevo, y le dan una mayor ventaja respecto a quienes se miden en el mismo campo de trabajo (Fig. 9.1).



MODELO GENERAL DEL EMPRESARIO-INVESTIGADOR



LA POSIBILIDAD DE LO IMPOSIBLE

Fig. 9.1. Empresario – Investigador

Su experiencia y sus habilidades técnicas y científicas, generalmente logradas por sí mismo, comienzan a ser apreciadas y los interesados empiezan a demandar su trabajo. Inadvertidamente, el profesional se convierte en empresario. Lo trascendente es que su trabajo innovador no se detenga cuando alcance un estatus profesional o social, sino que continúe.

El del Empresario-Investigador es quizá el eslabón operativo que falta en el esquema Universidad-Empresa, pues está más que visto que la innovación y el desarrollo tecnológico no detonarán en la cantidad, variedad e importancia que se desea, con el estéril modo de obrar. Lo anterior no quiere decir que no se hayan alcanzado frutos en algún momento, pero han sido escasos y no reflejan el tamaño de la intención ni los años gastados en tan fútil esfuerzo.

Luis Alberto Lightbourn Rojas representa un excelente caso de lo que es el Empresario-Investigador. Egresó del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey como profesionista, con la idea original de trabajar en la praxis privada bajo su propia cuenta y responsabilidad, y sin otro capital que su inteligencia.

Además de la sólida formación que adquirió en matemáticas y particularmente en ciencias químicas, el persistente interés por el estudio □que normalmente lo pierde más de 99% de los egresados de las instituciones de educación superior— lo llevó a conocer a fondo la fisiología vegetal y la genética molecular. Aunado a lo anterior, Lightbourn Rojas percibía que había una serie de técnicas, métodos o formas de hacer cosas que aparentemente estaban bien cuando en realidad no era así, como la nutrición de las plantas por medios artificiales.

El idear y preparar los cambios a lo que consideraba no era adecuado, como el uso de coloides para nutrir a las plantas en lugar de utilizar mezclas o soluciones químicas; el desarrollo de modelos a partir de esas ideas nuevas, como el Modelo Bioquímico Lightbourn; y el ánimo emprendedor, fueron algunos de los factores que contribuyeron a formarlo como empresario-investigador y a crear, junto con sus socios, los hermanos Arsenio y Daniel González García, la empresa Bioteksa (Fig. 9.2).



Podemos considerar entonces que la base del Empresario-Investigador es la investigación con una perspectiva tecnológica como constante funcional, no conformándose con saber que adelantos están surgiendo en su ramo específico, sino buscando el ser partícipe del proceso de cambio desde su propio lugar, ya sea con la innovación de sus propias actividades o el posible desarrollo de una nueva tecnología.

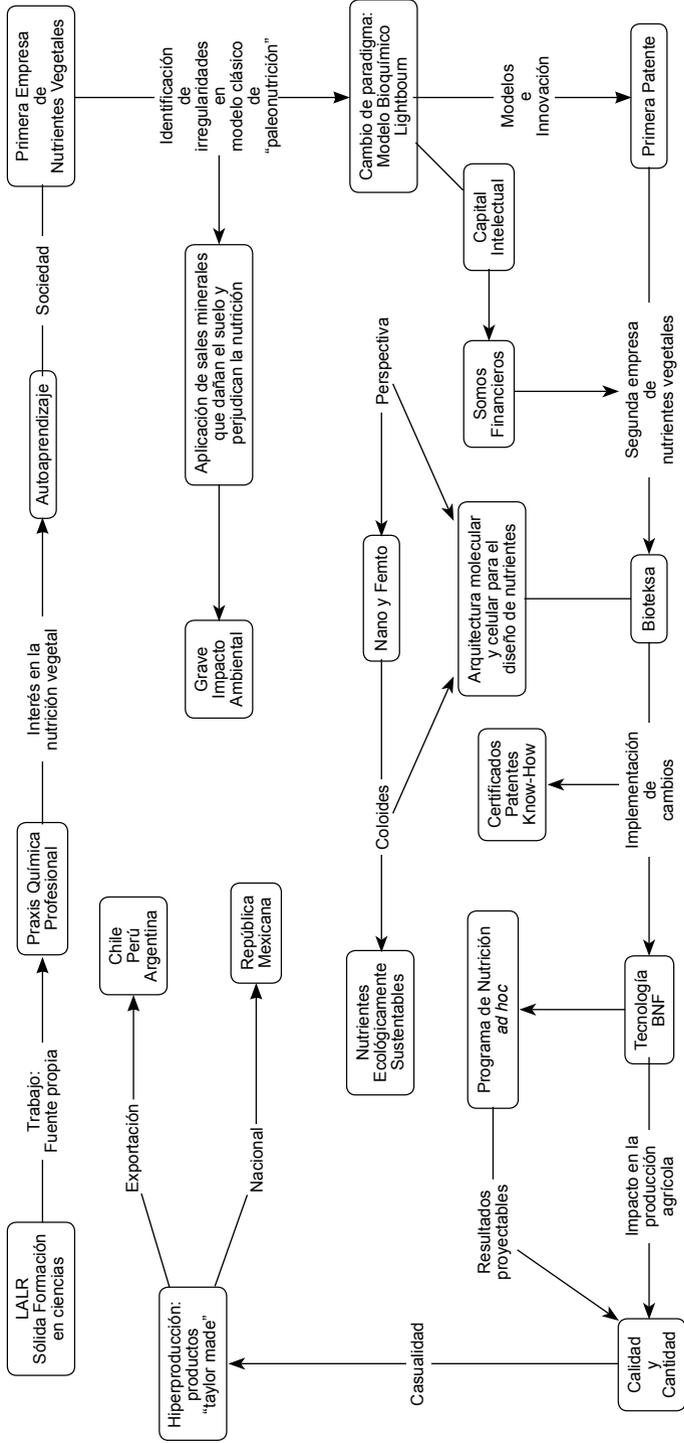
El mexicano como Empresario-Investigador

Hay científicos que tienen propensión a los negocios y se convierten en empresarios. Sin embargo, no es común que ocurra ésto, es decir, que la persona continúe realizando investigación científica y que a la vez se dedique a actividades empresariales. Pero es mucho menos común que un empresario se dedique a la investigación.

Si bien sabemos que esto es poco común, cuando llega a darse este tránsito, es por lo general en países desarrollados y muy difícilmente en países como el nuestro. En los contados casos que han llegado a suceder, el transitar de uno a otro extremo es más asequible el camino para el científico que para el empresario.



**MODELO BIOTEKSA
DEL
EMPRESARIO-INVESTIGADOR**



EL MODELO DEL EMPRESARIO INVESTIGADOR

Fig. 9.2. Empresario – Investigador Bioteksa

Al esquema de hacer negocios e investigación a la vez se le ha denominado en el presente texto *modelo del Empresario-Investigador*. Los profesionistas que se encuentran dentro de este esquema no investigan para escribir y publicar artículos científicos en revistas o publicaciones de reconocimiento internacional y obtener así un lugar en el Sistema Nacional de Investigadores, como lo hace la gran mayoría de los científicos, sino que se dedican a innovar para mejorar los procesos de producción, elevar la calidad de los productos y de ser posible, reducir costos.

En contraste, el empresario convencional se ocupa de que el producto terminado sea conocido a través de la publicidad, que se distribuya sin demora, que llegue al mercado y se venda. Lo que menos le interesa es realizar cambios a su línea de producción. Si acaso se le ocurre suponer algunas ideas que le permitieran mejorar su negocio, calcula los gastos en que incurriría y de inmediato desecha la idea por riesgosa. De esta manera, una empresa mexicana puede fácilmente durar un cuarto de siglo antes de que haga el menor cambio a su estructura.

Esta es una de las razones por las cuales no hay innovación y mucho menos generación de tecnología en este país. La otra es, que si un negociante resuelve aventurarse en una inversión empresarial, lo común es que adquiera tecnología obsoleta o de tercera mano donde el pago de derechos es mínimo.

El Empresario-Investigador es arrojado y toma riesgos si es necesario. Las fechas de cumplimiento de proyectos no lo intimidan; de hecho, es normal que trabaje contra reloj, a una presión poco común para el investigador universitario. Los tiempos para obtener resultados también se acortan, pues mientras que para el investigador académico las semanas o meses son largos, para el primero parecerán insuficientes.

La innovación del Empresario-Investigador no se produce porque le guste investigar tal o cual cosa, o por la curiosidad de saber, sino que se enfoca a la solución de una problemática específica de su empresa o de la empresa para la cual trabaja. Los investigadores universitarios, por el contrario, normalmente investigan lo que les provoca curiosidad y placer intelectual y que,

de acuerdo a sus cálculos, les puede retribuir con uno, dos o más artículos científicos para publicar en las revistas que mejor conengan a sus intereses.

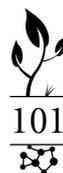
El Empresario-Investigador lleva un registro minucioso de sus actividades y eventualmente escribe textos muy técnicos; no con la intención de publicarlos, sino de patentar los inventos o diseños desarrollados. Estos escritos, según los derechos de la propiedad intelectual, dan cierta protección a su creador para que otros no utilicen sus innovaciones sin pagar regalías.

El investigador científico genera artículos científicos, comúnmente conocidos como *papers*. Su única preocupación, en caso de existir, es que su escrito no sea plagiado. Además de ésto, no existen otras preocupaciones. Los artículos son como tarjetas de presentación que hay que estarlas renovando cada año, pues *hablan* del autor que estuvo trabajando en la ciencia durante el pasado año.

Se supone que la relación Universidad-Empresa en México debe ser hacer lo que el Empresario-Investigador realiza: identificar aplicaciones industriales a partir del conocimiento científico de vanguardia, así como innovar y desarrollar tecnología útil y práctica. Este esquema se ha pretendido implantar en todas las universidades públicas del país desde hace más de medio siglo, pero el resultado ha sido decepcionante, pues los avances que se presentan en este momento, son los mismos que a fines de la década de los años cincuenta del siglo pasado.

El lenguaje que usan los investigadores nacionales es pura retórica improductiva. Por ejemplo, en el Primer Congreso del Sistema Nacional de Investigadores, realizado en la ciudad de Querétaro en mayo de 2010, algunos de los científicos que ahí participaron mencionaron en sus discursos frases como las siguientes:

La industria mexicana requiere desarrollar metodologías de procesos y de trabajo que le permitan ser más competitivas en el entorno global. El desarrollo de nuevas metodologías de procesos y de trabajo implica la aplicación del método científico para llevar a buen fin el objetivo de aplicar nuevos conocimientos al desarrollo de la planta productiva nacional. En este contexto, la participación de los investigadores científicos y tecnólogos mexicanos es de suma importancia para potenciar la capacidad productiva de la industria mexicana (Garza Castañón y González Rodríguez, 2010).



El Empresario-Investigador, toda vez que es polivalente en su quehacer, ya que investiga, desarrolla, prueba, genera cosas nuevas y hace negocios; no tiene tiempo para ver si su trabajo va de acuerdo a las premisas del método científico, ni a ensayar protocolos que le tomen dos o tres años, y mucho menos lo tiene para publicar en revistas especializadas y esperar la reacción de la comunidad científica internacional con respecto a sus desarrollos; el Empresario-Investigador impulsa su empresa potenciando su quehacer investigativo en un continuo ensayo-error que impacta negativa o favorablemente lo que vende. Su propio sistema evaluador o SNI, es el mismo público; si el consumidor le reconoce, vende; si desfavorece sus artículos de consumo, perece.

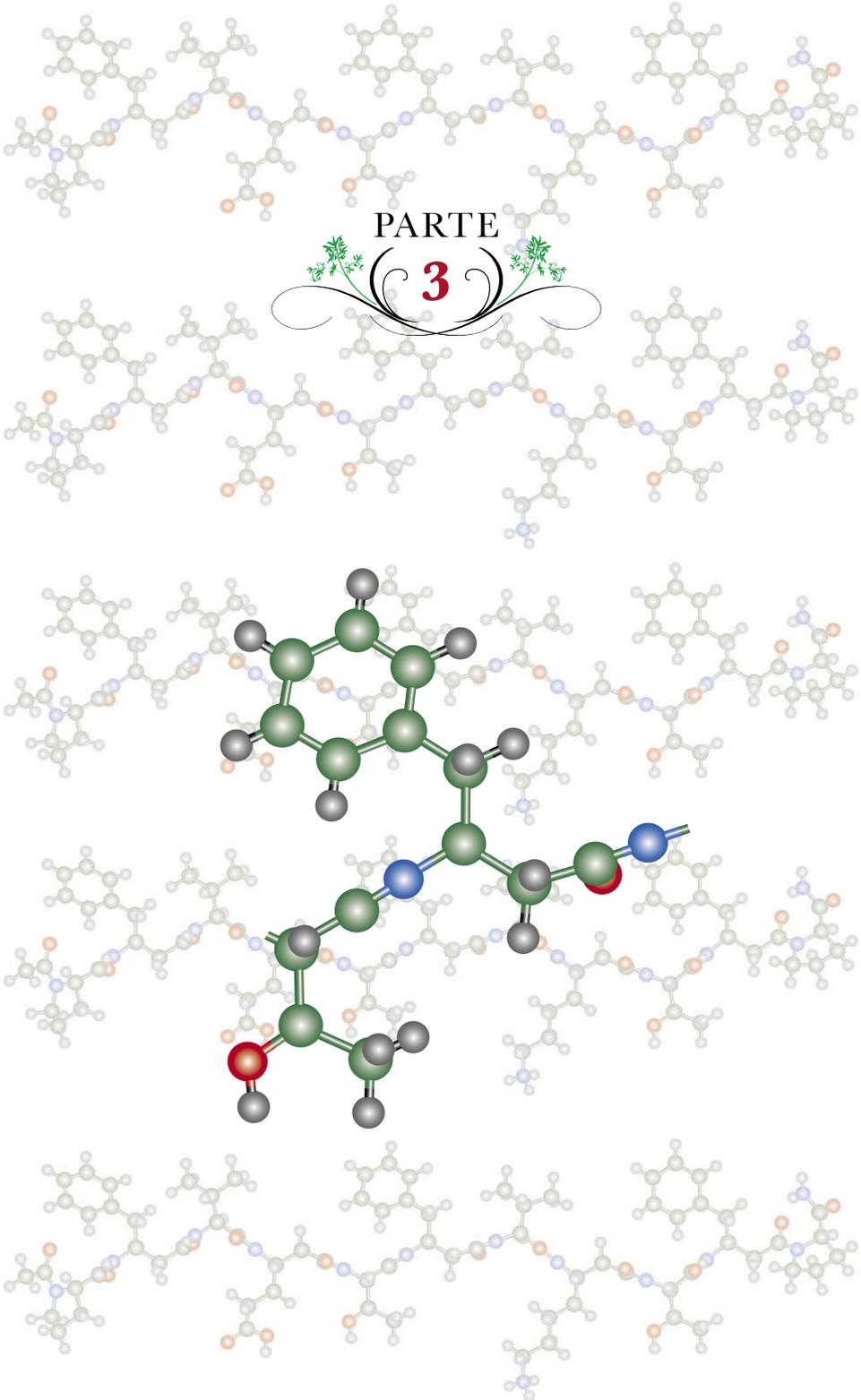
Las vinculaciones que se generan entre las universidades y las empresas son muy escasas y por lo general, se dan en el ámbito de la investigación diagnóstica, es decir, trabajos de indagación para proporcionarles información sobre algún asunto de interés a la empresa, similar al trabajo de un detective privado que es contratado para averiguar una situación irregular o un ilícito, donde va y busca en archivos, sigue a la persona en cuestión, escribe su reporte y entrega el resultado a quien lo contrató. Excepcionalmente — más bien nunca que rara vez —, los investigadores universitarios son contratados para innovar un proceso tecnológico a partir de su conocimiento.

Por otra parte, Lozada y Cassou, otro de los investigadores nacionales que participó en el congreso anteriormente mencionado del SNI, afirma que “un centro público de investigación no es una empresa y no debe serlo: debe ser un generador de tecnología”.

La pregunta entonces debería ser: ¿Y para quién y para qué genera tecnología? Lo paradójico en este aserto, es que cuando una entidad crea una nueva tecnología, el tecnólogo está pensando en algo concreto, no desarrolla tecnología por gusto, aunque investigue por gusto; como tampoco se desarrolla una tecnología y después se busca en qué puede utilizarse.

PARTE

3



Tecnología química

No puedo decir todo lo que sé, ni ser preciso con la ubicación, pues estas cosas se filtran, y no hay nada tan amargo para el pionero como ver la culminación de su trabajo con antelación.

P. Fawcett

Caja oscura

El suelo es el principio y el fin. De ahí brota la vida y a él regresa cuando muere. Lo que sustenta al hombre no son los productos marinos, sino las cosechas terrestres.

Esto lo percibieron los primeros recolectores de vegetales silvestres comestibles. Entendieron también que de la semilla renace la vida e imitaron a la naturaleza, inventando entonces la agricultura. Así nacieron los monocultivos.

A medida que su experiencia agrícola fue aumentando, también lo hizo su habilidad para propagar nuevas especies que fue conociendo y así, aumentar la variedad de plantas alimenticias, forrajeras, medicinales, rituales, textiles y de ornato, para llevarlas consigo en sus migraciones y trasplantarlas a su nuevo hogar.

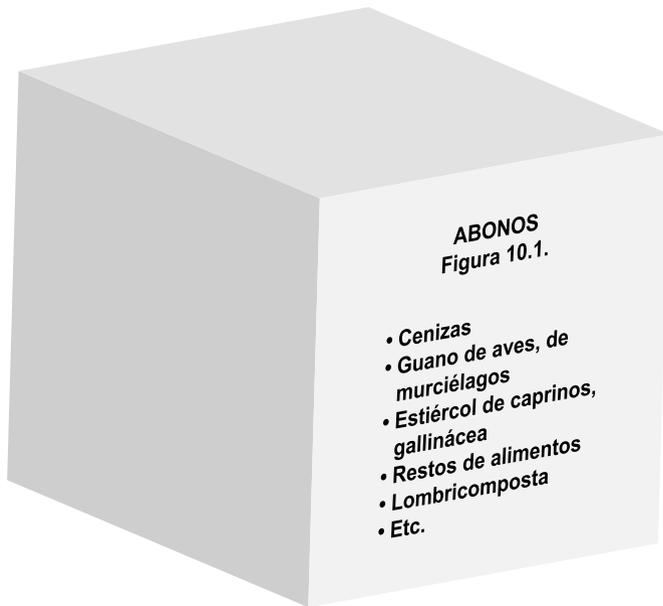
Los primeros agricultores también se percataron que el continuo uso del suelo le resta la capacidad fértil que naturalmente posee. Pero también observaron que las cenizas de sus hogueras, el estiércol de los animales y los restos de sus alimentos, todo ese material orgánico que denominamos *abonos*, le devolvían vitalidad al suelo para soportar siembras repetitivas y nuevos cultivos.



La práctica del uso de los abonos los llevó a conocerlos de tal forma que sabían cuando utilizar ceniza, en que etapa del cultivo agregar guano, o que restos mezclar y aplicar para darles viveza a los frutos cuando empezaban a crecer.

El empirismo de los primeros agricultores trascendió por miles de años sin que alguien se preguntara qué poseía esa materia muerta que enriquecía al suelo y daba vida a las plantas que por encima crecían.

A este modelo de saber se le denomina *caja oscura*, porque conocemos lo que está adentro, en este caso los abonos; sabemos que funciona, pero no comprendemos el porqué ni el cómo (Fig. 10.1); es un saber empírico nacido de la experiencia del ensayo-error.



Está claro que los antiguos agricultores entendían lo que para nosotros es hoy un hecho científico, que la fuente de los materiales que proveen de materia y energía al ser humano es el suelo, y que el agua y el sol le infundían la savia y la chispa de espíritu que la simiente necesitaba para que la vida emergiera sobre la superficie con toda su fuerza, y que el aire se encargaba de dispersar las semillas portadoras de nueva vida.

Por eso los antiguos seres humanos creían que el aire, el agua, el fuego y el agua, eran los elementos que constituían al universo. Y aunque desde hace poco más de un siglo los químicos saben que partículas materiales más pequeñas son las que esencialmente hay en ese universo, en general esas cuatro grandes unidades producen la vida.



Algunas plantas leguminosas abonan los suelos y los hacen fructificar, mientras que otras plantas los transforman en terrenos yermos. Frijoles, chicharos, lentejas, lupinos (mazorquilla), habas son reportadas que como plantas que fertilizan la tierra.

Columella, a. C.



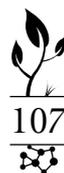
La linaza y la avena cansan a los suelos.

Virgilio, 70-19 a.C.

También sabían que había plantas que fortalecían los suelos y plantas que los agotaban. Numerosos autores anteriores a nuestra era dan nota de que los suelos se cansaban de ser cultivados sin darles reposo. Y se preguntaban que qué había ahí antes, cuando los campos florecían y qué faltaba cuando se volvían infértiles.

Después de largos años de agricultura y a pesar del uso de los abonos, el *cansancio* de los suelos parecía que vencería a los agricultores. El interés por conocer más de la constitución de las plantas llevó a los primeros microscopistas, en el siglo XVII, a escudriñar sus microestructuras, que son las células y los tejidos. Este fue el primer paso para pensar de qué manera funcionarían y por lo tanto, el camino inicial a la química vegetal.

La producción de los cultivos no rebasaba ya la producción de quintales por hectárea conocidos para cada especie, por lo que aún estando en el proceso de aprendizaje sobre el funcionamiento de las plantas, el hombre empezó a establecer los principios de la nutrición vegetal y a saber cuáles eran los elementos nutricios para esta clase de organismos.



Midió la presión radical, la transpiración de agua por las hojas y luego descubrió el proceso metabólico de la fotosíntesis, hasta que en 1804, De Saussure describió la fotosíntesis y dijo que las plantas tomaban nitrógeno del suelo, describiendo además el papel que desempeñaba el agua en este proceso. La caja oscura de la nutrición vegetal comenzó a transparentarse.

A principios del siglo XIX todavía no existía una idea clara de la estructura anatómica de las plantas y sus funciones, ni de la interacción de la materia y la energía. A mediados de ese siglo Meyer enunció que: “en realidad sólo existe una fuerza. En eternos cambios circula por la naturaleza viva y muerta”.

Con lo que dejó zanjada la discusión sobre la idea de que los organismos vivientes eran movidos por una clase de principio vital.

De lo oscuro a lo transparente



Lavoisier, considerado como el padre de la química moderna, generó en el siglo XVIII una serie de reglas para nombrar a los diferentes elementos químicos que en el futuro se fueran conociendo. Hacia mediados del siglo XIX ya se habían descubierto numerosos elementos químicos, los suficientes como para establecer un patrón de comportamiento que diera pauta para su distribución ordenada.

Hubo varios intentos de construir una clasificación de los elementos químicos que, bajo ciertas circunstancias, tenían una lógica pero no eran prácticos. En 1869 apareció la tabla periódica de los elementos químicos del ruso Dimitri Mendeleiev, construida con 63 elementos conocidos. La tabla dejó libres varias casillas de elementos que, en su lógica química, debían de existir pero aún faltaban por conocer.

La tabla periódica (Fig. 10.2) se constituyó en una herramienta vital para los químicos, porque les permitió comprender de qué forma se asociaban los elementos (1) en el mundo inanimado de lo inorgánico, (2) en el mundo animado de lo biológico, y (3) como era que de lo inanimado pasaban a lo biológico y viceversa, es decir, en un continuo ciclo. Comprender estas asociaciones propició el surgimiento de nuevos campos disciplinarios, como la fisicoquímica, la bioquímica y la biofísica, entre otras disciplinas que fueron especializándose cada vez más.

Poco a poco la naturaleza empieza a develar sus secretos a los químicos, quienes observan lo aparentemente obvio con otra mirada. Reducen al mundo a elementos simples y lo reconstruyen en compuestos complejos. Pero ésto no es suficiente, habrá que deconstruir la naturaleza y reconstruirla para lograr comprenderla.

Para el caso de la agricultura, la química permitirá definir hasta su más pequeño detalle cuales son los elementos que consumen las plantas, cómo y en que cantidades. Es el camino al establecimiento de las necesidades nutricionales de los vegetales.

The Elements	Their Properties in the Free State				The Composition of the Hydrogen and Organo-metallic Compounds		Symbols and Atomic Weights	The Composition of the Saline Oxides			The Properties of the Saline Oxides			Small Periods or Series	
	t	a	d	$\frac{A}{d}$	RH _m or R(CH ₂) _m	R		A	R ₂ O _n	d	(2A + n ²) / d	y			
Hydrogen	<-200°	[2]	<0.05>	90		H	1	1 = n		0.017	19.0	<-20	[11]		
Lithium	180°		0.59	12		Li	7	1†		2.0	15	-9	1		
Beryllium	(900°)		1.64	5.5		Be	9	2		3.06	16.8	+2.6			
Boron	(1800°)		<2.0>	4.4	3	B	11	3		1.8	59	10			
Carbon	>(3500°)		<2.0>	6	4	C	12	4		>1.0	<38	<19			
Nitrogen	-208°		<0.7>	30	3	N	14	1	3*	1.64	66	<5			
Oxygen	<-200°		<1.0>	16	2	O	16	2	5*						
Fluorine					1	F	19								
Sodium	96°	0.71	0.98	23	1	Na	23	1†		Na ₂ O	2.6	24	-32	3	
Magnesium	500°	0.97	1.74	14	2	Mg	24	2†			3.6	22	-3		
Aluminium	600°	0.28	2.6	11	3	Al	27	3		Al ₂ O ₃	4.0	26	+1.8		
Silicon	(1800°)	0.08	2.5	12	4	Si	28	4			2.65	45	-5.2		
Phosphorus	44°	1.98	3.2	14	3	P	31	1	3*	2.39	59	6.2			
Sulphur	114°	0.67	3.07	15	2	S	32	2	4* 5* 6*	1.96	82	8.7			
Chlorine	-75°		1.8	37	1	Cl	35.5	1	3						
Potassium	86°	0.84	0.87	45		K	39								
Calcium	(800°)		1.6	35		Ca	40	1†			2.7	85	-5.5	4	
Scandium				(2.0)	(18)	Sc	44		3†		3.15	86	-7		
Titanium	(3500°)		(6.1)	(9.4)		Ti	48		3 4		3.76	85	(0)		
Vanadium	(3000°)		2.5	9.2		V	51		3 4 5		4.3	88	(+5)		
Chromium	(3000°)		6.5	8.0		Cr	52		2 3 4 5 6*		3.49	52	6.7		
Manganese	(1600°)		7.5	7.3		Mn	55		2† 3 4 - 6* 7*		2.74	78	9.5		
Iron	1400°	0.12	7.8	7.3		Fe	56		2† 3 4 - 6*						
Cobalt	(1400°)	0.12	8.6	6.8		Co	58.5		2† 3 4						
Nickel	1350°	0.17	8.7	6.8		Ni	59		2† 3						
Copper	1054°	0.29	8.8	7.2		Cu	63		1† 2†		Cu ₂ O	5.9	24	9.8	5
Zinc	422°		2.1	9.2		Zn	66		1†						
Gallium	80°		5.96	19	3	Ga	70		3						
Germanium	900°		5.47	13	4	Ge	72		2 3 4						
Arsenic	800°	0.06	6.7	13	3	As	75		3 4 5*		4.1	66	6.0		
Selenium	917°		4.8	16	2	Se	79		1						
Bromine	-7°		3.1	36	1	Br	80		1						
Rubidium	88°		1.5	87		Rb	85		1†						
Strontium	(600°)		2.5	35		Sr	87		1†						
Yttrium				(8.4)	(26)	Y	89		3†						
Zirconium	(1500°)		4.1	32		Zr	90		3 4		5.06	48	(-3)		
Niobium			7.1	18		Nb	94		3 4 5*		4.7	57	+6.2		
Molybdenum			8.6	13		Mo	96		2 3 4 5*		4.4	65	6.8		
Rhenium	(900°)	0.10	12.9	8.4		Re	108		2 3 4 6 - 8						
Rhodium	(1900°)	0.08	12.1	8.6		Rh	104		2 3 4 6 - 8						
Palladium	1500°	0.13	11.4	8.3		Pd	106		1† 2 4						
Silver	950°	0.19	10.5	10		Ag	108		1†						
Cadmium	320°	0.31	8.6	18	3	Cd	112		2 3						
Indium	176°	0.46	7.4	14	3	In	113		2 3						
Tin	230°	0.23	7.2	16	4	Sn	118		2 4						
Antimony	483°	0.12	6.7	18	3	Sb	120		3 4 5		6.5	49	2.6	8	
Tellurium	455°	0.17	6.4	20	2	Te	125		4 - 6*		5.7	68	4.7		
Iodine	114°		4.9	26	1	I	127		1						
Cesium	27°		1.88	71		Cs	133		1†						
Barium			3.75	36		Ba	137		2†		5.1	60	-6.0		
Lanthanum	(600°)		6.1	38		La	139		3†		6.5	50	+1.3		
Cerium	(700°)		6.6	31		Ce	140		3 4		6.74	50	2.0		
Didymium	(800°)		6.5	22		Di	142		3 - 5						
Ytterbium				(6.9)	(25)	Yb	173		3						
Tantalum			10.4	18		Ta	182		5		7.5	59	4.6		
Tungsten	(1500°)		12.1	9.6		W	184		4 - 6		6.9	67	8		
Osmium	(2500°)	0.07	22.5	8.5		Os	191		3 4 6 - 8						
Iridium	2000°	0.07	22.4	8.6		Ir	198		3 4 6 - 8						
Platinum	1775°	0.05	21.3	9.2		Pt	196		1 3 4						
Gold	1045°	0.14	19.3	10		Au	198		1						
Mercury	-39°		13.6	15	2	Hg	200		1† 2†						
Thallium	294°	0.81	11.8	17	3	Tl	204		1† 3						
Lead	328°	0.29	11.8	18	4	Pb	206		2† 4						
Bismuth	268°	0.14	9.6	21	3	Bi	208		3 - 5						
Thorium			11.1	91		Th	232		4		9.86	54	2.0	12	
Uranium	(800°)		18.7	13		U	240		4 - 6		(7.2)	(80)	(0)		

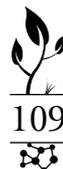


TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS
Figura 10.2.

Caja transparente

En el siglo XIX, como vimos antes, ya se tenía idea de la relación existente entre algunos elementos y compuestos químicos de las plantas. Tiempo atrás, por ejemplo, el químico alemán Johann Glauder (1604-1670), encontró que el nitrato de potasio recogido en los corrales de ganado provenía del estiércol y que éste tenía por origen el forraje que los animales consumieron.

Jan Ingen-Housz (1730-1799), médico holandés, encontró que las plantas no pueden tomar dióxido de carbono o liberar oxígeno en ausencia de luz solar y que el oxígeno sólo se libera cuando existe abasto de dióxido de carbono. Cabe mencionar que hubo varias aportaciones más, siendo cada vez más cualitativas y cuantitativas, pero no de la importancia de las de los autores aquí mencionados.

Justus von Liebig (1803-1873), a quien se considera el padre de la química agrícola y de la industria de los fertilizantes, descubrió que para alimentarse los vegetales no requieren materiales crudos como los abonos, sino elementos químicos en su más pura esencia o transportados en forma de compuestos simples.

Habiendo Liebig sacado la punta de la hebra de la madeja, lo demás fue tarea fácil para los químicos. Antes de que terminara el siglo XIX ya tenían identificados los elementos nutricios que dan vida a las plantas y estaban develando, por cada especie de importancia comercial, las cantidades que requerían, modo de administrarlas y horario para hacerlo, entre otras variables. Lo invisible se hizo visible, nacieron los fertilizantes químicos inorgánicos. La caja oscura se había tornado transparente (Fig. 10.3).

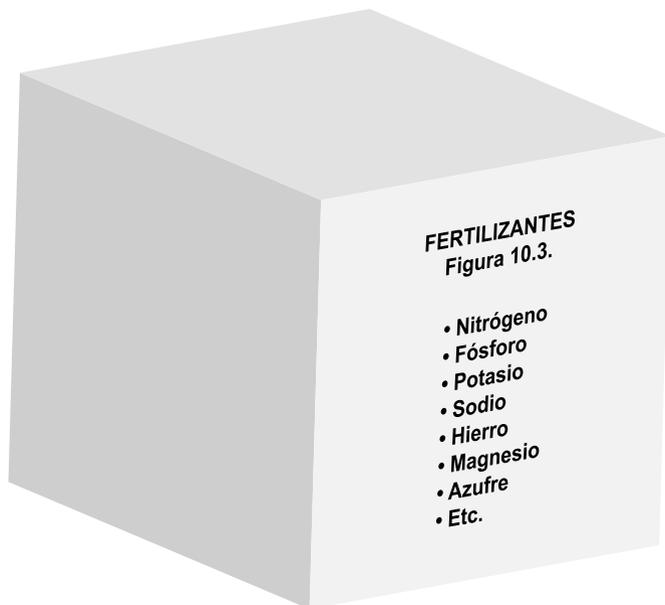
El proceso mediante el cual los cultivos absorben nutrientes minerales del suelo para generar carbohidratos, proteínas, grasas y aceites, y a partir de los cuales construyen sus propios tejidos, que posteriormente se convertirán en alimento, no son otra cosa más que una serie de cambios químicos.

A diferencia de los abonos orgánicos, los fertilizantes químicos poseen una fórmula conocida que indica los productos



que contiene y en que cantidad; mientras que los abonos seguirán siendo materiales indiferenciados, por más que se tamicen, purifiquen y se empaqueten en bolsas o en botes bonitos.

Habida cuenta que el suelo es el principal proveedor de minerales para la manufactura de fertilizantes, las empresas mineras surgieron como las principales fabricantes de fertilizantes.



Biotecnología

Caja oscura: selección de especies para cruzar

La selección y cruzamiento de variedades vegetales o de razas animales para mejorar un carácter, ya sea por la capacidad que poseen para soportar un ambiente hostil, porque producen semillas con atributos superiores –sabor, tamaño–, o simplemente por la estética que brinda al organismo que se trate, es tan antigua como el hombre mismo.

A mediados del siglo XIX, Charles Darwin clasificaba la selección de variedades y razas en tres clases:

- *Selección metódica*: la que el hombre realiza de una manera sistemática y guiado por un objetivo preciso; por ejemplo, obtener más granos de una mazorca de maíz, mazorcas de más de 40 centímetros o plantas de maíz más resistentes a la sequía, por mencionar algunas posibilidades.
- *Selección inconsciente*: la que de manera natural sigue el hombre cuando destruye a los especímenes menos valiosos y conservan a los más valiosos. La escala de valor en este caso no únicamente se refiera a lo económico, también puede tratarse de lo estético.
- *Selección natural*: la que ejercen las fuerzas de la naturaleza en toda su expresión, que es a nivel individual entre la misma especie y a nivel de grupo entre diferentes especies. Este tipo de selección involucra patógenos, parásitos, depredadores, catástrofes meteorológicas y sísmicas, entre otras, y que pone a los seres vivos en una situación de vivir o morir a cada instante. Los más adaptados, los más capaces, los que pueden responder rápido a estas situacio-



nes, los que poseen mejores sistemas inmunológicos y los mejor instrumentados para responder ataques, son los que sobreviven y transmiten los caracteres que los hacen ser lo que son a su progenie.

Darwin arribó a estas conclusiones mediante trabajos de experimentación, observación y deducción, e incluso, llegó a suponer que debería existir alguna clase de material biológico que portara la herencia de los seres vivientes. No se equivocó, se trata del ADN o ácido desoxirribonucleico, cuya presencia bioquímica fue detectada en las células en 1869, pero el papel que juega en la transmisión de los caracteres se descubrió 60 años más tarde.

Estos tres tipos de selección que traen como resultado el resurgimiento de nuevas cepas o variedades de organismos, únicamente permiten observar que *algo* sucede cuando hay una presión por parte de la naturaleza o del hombre, pero se ignoran las causas reales. Este es un tipo de fenómeno de caja oscura, porque vemos lo que sucede, podemos intervenir para que suceda, pero no sabemos por qué ocurre (Fig. 11.1).



De lo oscuro a lo transparente: Gregor Mendel

En 1865, el fraile agustino Gregor Mendel, aficionado a la botánica y disciplinado estudioso de las ciencias, presentó ante los miembros de la Sociedad de Historia Natural de Brünn, de la cual él también formaba parte, el artículo titulado: “Experimentos de hibridación en plantas”, mismo que se publicó en los *Anales* de la sociedad.

Su trabajo no fue entendido y pasó desapercibido hasta comienzos del siglo XX. En él refería el trabajo de fertilización artificial que durante largo tiempo realizó con plantas de chicharos. Estaba interesado en saber cómo es que ciertos caracteres, como el color, tamaño y forma, entre muchos otros más, desaparecían en una generación y reaparecían en otra, y por que otros caracteres se mostraban dominantes ante otros.

Dispuesto a develar el juego de la naturaleza, ocho años y más de veintiún mil plantas le tomaron sus experimentos, los cuales realizó en los jardines del monasterio donde residía. Seleccionó a la planta de chicharos (*Pisum sativum*) como sujeto de estudio porque, después de numerosas observaciones, encontró que ésta era una especie sobre la cual él podía controlar la fertilización y las cruza entre una y otra variedad.

Tomó nota y clasificó toda la descendencia de los híbridos y a partir de sus cálculos, formuló una ley general sobre la herencia de los caracteres de los seres orgánicos, como les llamaba. Además de dar cuenta de las cualidades de los descendientes, establecía sus relaciones cuantitativas. Todos los chicharos de una generación, al igual que las generaciones de chicharos, fueron clasificados y medidos.

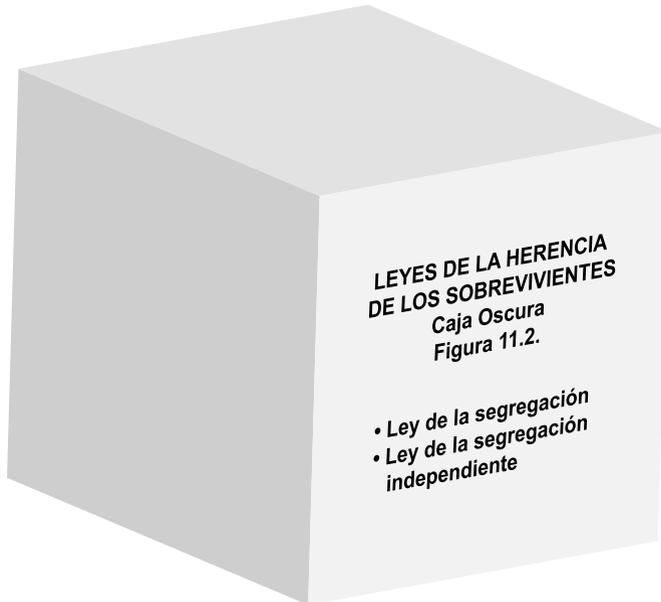
De esta forma, Mendel logró descifrar como ocurre la transmisión de los caracteres de las especies, a lo cual hoy se le conoce como las *leyes de la herencia* (Fig. 11.2).

En la naturaleza, la tendencia entre las variedades de una especie es que una prevalezca sobre las demás y que los rasgos se homogenicen. Esto no quiere decir que las variedades más débiles desaparezcan, sino que la mejor adaptada tiene la ventaja de prevalecer sobre el resto, además de recargar su genoma con rasgos de las otras.



Si bien Mendel no dilucidó como es que ocurría el fenómeno de la herencia y a que misteriosos motivos obedecía, la lógica de la desaparición de ciertos rasgos en una generación y el posterior resurgimiento de los mismos caracteres en otra generación, fue elucidada. Esta nueva idea fue un enorme avance sobre los primitivos métodos de selección de especies.

Cuando en el siglo XX se conocieron los experimentos de Mendel y se difundió su teoría, investigadores agrícolas y pecuarios de todo el mundo llevaron sus enseñanzas al laboratorio y al campo y repitieron sus procedimientos. Desde entonces, la mejora de especies animales y vegetales dejó de estar en manos de los ganaderos y los agricultores.



Cabe mencionar que en el trabajo científico que realizó Norman Borlaug en México con el trigo y en India con el arroz, del cual se generó la llamada *revolución verde*, como apuntamos anteriormente, aplicó rigurosamente los principios de la herencia de Gregor Mendel. Los trabajos mendelianos no avanzaron más a nivel científico.

Paralelamente a los esfuerzos de Borlaug surgió la genética, disciplina biológica que profundizó en el conocimiento de la herencia de los seres vivos y en los nucleótidos, materiales



El entendimiento científico de la herencia y cómo los rasgos genéticos de las plantas pasan a través de generaciones, no comenzó sino hasta 1865, cuando el fraile y botánico Gregor Mendel publicó los resultados de sus crías experimentales con chicharos. Esto se convirtió en la fundación de la genética moderna, que no se aplicó a la cría de plantas sino hasta el siglo XX.

Norman Borlaug

biológicos responsables de la transmisión de los caracteres.

El mejoramiento de especies con la escuela mendeliana rindió pocos frutos en los últimos cincuenta años; entre tanto, los genetistas de laboratorio avanzaban a pasos agigantados para conocer los niveles moleculares de la herencia y para desarrollar técnicas científicas que permitieran perfeccionar a las especies.

Con sueños cercanos a la ciencia ficción, comenzó una aventura que los llevó a conocer el mapa genético de los humanos, lo mismo que de muchas otras especies, herramienta básica para la manipulación de genes para el mejoramiento de organismos.

La caja oscura que medio se había transparentado con Mendel y Borlaug, se aclaraba como el cristal con la genética molecular. Prometía la creación de tantas nuevas especies y en tan poco tiempo, como nunca se había imaginado.

Era la respuesta esperada para finiquitar la hambruna de los pueblos afectados por ella. ¿Pero esa es realmente la respuesta?

Caja transparente: organismos genéticamente modificados

El desarrollo de la genética tomó fuerte interés desde el comienzo del siglo XX. Los investigadores de laboratorio estaban obcecados por encontrar explicación a los principios mendelianos de la herencia y presumían que se hallaba en el núcleo de las células.

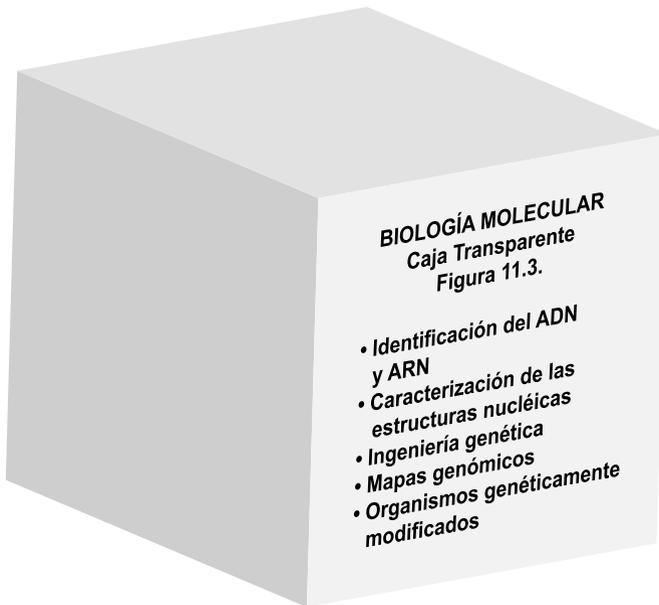


A partir del redescubrimiento y verificación de la teoría de Mendel por Carl Correns, Hugo de Vries y Erich von Tschermak en 1900, la construcción de la teoría genética tomó poco más de medio siglo. Cientos de investigadores en diversas partes del mundo participaron trabajando sobre organismos como las mosquitas de la fruta, maíz, moho de neurospora, aves de corral, ratones y demás, hasta que en 1953, se dio el gran paso: James Watson y Francis Crick publicaron un brevísimo artículo científico titulado “Molecular structure of nucleic acids” (Estructura molecular de los ácidos nucleicos).

Este trabajo explicaba de qué manera se encontraban enlazadas las sustancias que conforman el ácido desoxirribonucleico. Al año siguiente, en 1954, L. J. Stadler publicó otro artículo que llevaba por título: “The gene” (El gen). En él daba cuenta del componente biológico más pequeño portador de los caracteres de la herencia de los seres vivos: el gen.

Como un torrente de magma después de la erupción volcánica, las investigaciones genéticas desbordaron curiosidad en la comunidad científica internacional y el interés llegó incluso a varios gobiernos y al público general. Se especuló intensamente sobre lo prometedor que serían los descubrimientos y avances futuros, mismos que sin duda salvarían a la humanidad de las penas de las enfermedades, quizá hasta de la vejez, e incluso, se pensaba que los campos agrícolas y ganaderos producirían alimento para todos.

Veinte años después, en la década de los setenta, la biología clásica darwiniana, descriptivista y anecdótica, daba paso a una moderna ciencia, la *biología molecular* (Fig. 11.3). Las herramientas surgidas en esta nueva biología invitaban al hombre a pensar hasta donde quería llegar a diseñar su futuro biológico.



Así apareció la llamada ingeniería genética, que transformó su nombre en *biotecnología*. Prometía no únicamente el mejoramiento de las especies a partir de sus propios materiales genéticos, como se hacía con la hibridación mendeliana, sino identificar, seleccionar y quitar genes de una especie e insertarlas en otra para aprovechar su potencial.

Pronto se convirtió en un asunto altamente controversial. Los detractores de la biotecnología, tanto científicos como políticos, le pusieron el mote de “tecnología Frankenstein”, aludiendo a la obra de Mary Shelley, donde el Dr. Víctor Frankenstein crea un hombre vivo a partir de los restos de hombres muertos y con energía procedente de los rayos; el resultado es un monstruo que actúa contra su propio creador.

Y tal como sucedió en la obra, los críticos de la biotecnología de los años setenta —que en ese tiempo aún no mostraba su verdadero potencial científico y tecnológico—, vaticinaban que los nuevos “frankensteins” se volverían contra el hombre y la naturaleza.

Tantas eran las promesas de un futuro mejor, guardadas en la biotecnología, que los sueños de los científicos se equiparaban a las ideas literarias de los novelistas de ciencia ficción. Y



para llegar a ellas, los científicos avanzaron a tal velocidad que la biotecnología se convirtió en la ciencia que en menos tiempo que ninguna otra empezó a duplicar su conocimiento. Se estima que en la actualidad la biotecnología duplica su conocimiento cada dos años. Le siguen las ciencias computacionales, que duplican su saber cada tres años.

Pero, ¿qué significa todo este conocimiento sobre la naturaleza molecular de los seres vivos, de la manera en cómo se conforman y se reparten los caracteres de sus progenitores, en conocer los genes de cada especie, en aislarlos e insertarlos en otras especies?

En pocas palabras, al principio se creía que la respuesta a todas las necesidades biológicas del hombre estaba en la manipulación de la vida misma, tanto de los humanos como del resto de las especies. Muchos pusieron su fe en la biotecnología porque les significaba la sanación de todas las enfermedades humanas, las de las plantas y animales de importancia económica; para el abastecimiento alimentario de las mesas de todas las personas; para la transformación de la especie humana en súper hombres —más inteligentes, fuertes, más resistentes físicamente a las intemperancias del clima y de la contaminación ambiental, y con mayor capacidad de vida—; y para la conquista espacial.



La nueva *revolución verde*

Producir los suficientes alimentos, siempre ha sido un reto para el hombre, más aún en los últimos dos siglos en que se ha acelerado el crecimiento de la población humana.

Hace poco más de cien años, a finales del siglo XIX, lo que vino a salvar a los humanos de la raquítica producción del campo, fue el surgimiento de los fertilizantes químicos. Como se vio anteriormente, los fertilizantes fueron una auténtica revolución agrícola, pues los campos incrementaron su producción como nunca antes.

A mediados del siglo XX, a raíz de los trabajos mendelianos de Norman Borlaug para el mejoramiento de algunas variedades de cereales, trigo y arroz principalmente, se originó lo

que se ha denominado la *revolución verde*, la cual probablemente salvó de la hambruna, con el milagro de las especies mejoradas —aunado a los fertilizantes químicos y plaguicidas, entre otras muchas cosas que casi nunca se mencionan—, a más de mil millones de personas en México, India y otros países.

Debido a la sobrepoblación mundial y el aumento en la demanda de alimentos, la producción agrícola de la *revolución verde* se vio rebasada desde finales de la década de los setenta, más pronto de lo que se había pensado. De tal modo, ante el posicionamiento de la *genética molecular* en las ciencias y los nuevos milagros agrícolas que al parecer aguardaban al campo, pronto se comenzó a decir que la nueva *revolución verde* estaba en manos de los biotecnólogos.

Ellos eran quienes conociendo los secretos más íntimos de las plantas, podrían mejorarlas genéticamente; no creando genes, sino sacándolos de unas especies y colocándolos en otras para convertirlas de esta manera en las mayores productoras de frutos y semillas que jamás se hubiesen visto.

En los laboratorios surgió la modificación genética de las especies, quedando atrás la mendeliana metodología para la selección e hibridación de las especies. Entre los anuncios de los biotecnólogos sobre lo que inventarían y pondrían al alcance de la gente en la década de los noventa, en este caso para la agricultura, según Prentis, era que el problema de los fertilizantes quedaría resuelto de una vez por todas, pues para entonces ya habría “razas de cultivos creadas mediante ingeniería genética [...] capaces de elaborar sus propios fertilizantes y de resistir la sequía y las enfermedades”.



Mientras que las mujeres neolíticas inventaron la agricultura y desarrollaron muchas de la especies comestibles con que contamos hoy en día, nuestros altamente capacitados fitogenetistas han producido solamente una nueva especie alimentaria: el triticale.

Theodore W. Schultz. 1984



Hacia 1970 había alrededor de 4,000 millones de personas en el mundo, ahora existen casi 7,000 millones, de las cuales, alrededor de 3,500 millones padecen hambre y desnutrición. Además, al actual año 2010, no ha habido ningún adelanto biotecnológico capaz de resolver el problema global de las enfermedades y las hambrunas.

¿Son los organismos genéticamente modificados la respuesta a la alimentación del futuro?

Independientemente de toda la controversia que ha propiciado el desarrollo de especies transgénicas, pues representan la intromisión del hombre en lo que la naturaleza ha creado a través de cientos de millones de años y su empleo en el área médica, alimenticia, petrolera y textil, entre otras, es demasiado lo que la gente ha confiado en la biotecnología y más aún, lo que los científicos han ofrecido que resolverían.

A pesar de que se han producido muchos adelantos en esta materia, los hechos demuestran que no han sido suficientes. Para el caso de la agricultura, los avances obtenidos hasta ahora se refieren a la creación de organismos genéticamente modificados (OGM) a partir de especies de importancia económica como el algodón, soya, sorgo, canola, maíz y lechuga, entre otras más, que tienen insertos en sus genomas genes de bacterias, plantas u otra clase de organismos.



En vez de tratar de criar un híbrido a partir de diferentes variedades de la fruta, Gonsalves aisló un gen del virus de la mancha anular y lo insertó directamente en el cromosoma de la papaya. Como resultado la fruta desarrolló resistencia al virus, del mismo modo en que los humanos desarrollan tolerancia a determinadas enfermedades cuando son vacunados. Para los granjeros los resultados fueron más que un pequeño milagro. Las semillas llegaron a los ellos en 1998, y la producción es ahora de 40 millones de libras al año. La papaya que ahora crece en Hawái es genéticamente modificada.

Joe Castaldo, 2010

Las plantas genéticamente diseñadas pueden tener la capacidad de producir toxinas en sus hojas o en sus frutos, es decir, sustancias que matan a los insectos que comen de ellas o, las modifican para ser más resistentes a los herbicidas que se aplican para abatir la hierba mala.

Al año 2010, los cultivos de organismos genéticamente modificados crecen en más de 25 países, principalmente Estados Unidos, Brasil y Argentina. Los agricultores plantan más de 150 millones de hectáreas con esta clase de organismos, pero el desprecio de las personas por estos productos, se ha extendido por todo el planeta, principalmente entre los europeos, quienes muestran un rechazo a estos alimentos que raya en la fobia.

Como muestra de lo anterior, podemos mencionar que sólo una variedad transgénica de maíz estaba permitida en el viejo continente hasta hace poco, pero recientemente, la Unión Europea dio su anuencia para la introducción de una papa genéticamente modificada que produce almidón de alta calidad, pero que únicamente está permitida para uso industrial.

Sin embargo, aunque los europeos aún tienen muchas reservas con respecto al empleo de los organismos genéticamente modificados, realizan bastante investigación al respecto y producen nuevas variedades para vender fuera de su continente. Por ejemplo, Jamil menciona que investigadores de Alemania y Suiza modificaron genéticamente una variedad de arroz, al que denominaron "arroz dorado", mismo que contiene tres genes, dos provenientes de las plantas del narciso y otro de una bacteria indeterminada, que ayudan a la planta del arroz a producir altas cantidades de vitamina A. La idea de este grupo de científicos y empresarios es introducir el arroz dorado a Asia.

Desarrollos biotecnológicos como éste hay cientos: en el maíz, la cebada, el sorgo, la calabaza, el tabaco, la zanahoria, el tomate y el melón, entre muchas más, pero ninguno resuelve el problema de la nutrición vegetal.

Los biotecnólogos han modificado especies que son más productivas, resistentes a las plagas, tolerantes a los agroquímicos biocidas (que matan toda clase de vida menos a los organismos genéticamente modificados) y resistentes a la sequía;



es decir, toda una nueva generación de *súper plantas* que en apariencia resolverán el problema de cualquier hambruna que amenace con convertirse en una pandemia global.

Pero para que los organismos genéticamente modificados expresen su potencial génico, deben contar con todos los elementos bióticos y abióticos a su favor: clima favorable, suelo propicio y rico, nutrientes presentes en cantidades necesarias, organismos benéficos a su alrededor, plagas controladas, agua omnipresente, cuidados humanos expertos y constantes.

Los organismos genéticamente modificados son como los niños prodigio con capacidades como las Einstein o Mozart que nacen en el campo o en los suburbios pobres de las ciudades. Si no se les proporcionan cuidados paternales, educación adecuada, alimentación nutritiva, ambientes saludables física y mentalmente y estudios universitarios, entre otras muchas necesidades, nunca llegarán a destacar como lo hicieron Einstein o Mozart, y se quedarán en el campo como jornaleros o en la ciudad como obreros, o quizás algo peor; a razón de que no se habrían dado las condiciones propicias para que su capacidad genética se manifestara de la misma manera que se logró expresar la de los dos genios antes mencionados, y que al menos, produjera hombres de bien, inteligentes y productivos.

Con esto queremos decir que si una planta genéticamente modificada no se cultiva en un medio que reúna las mejores condiciones de productividad vegetativa y de fructificación, su rendimiento jamás será el que los biotecnólogos diseñaron a nivel génico. En la vida, el ambiente externo y sus miles de componentes son protagonistas que inciden en el desarrollo de todos y cada uno de los individuos. Bajo estas características, los biotecnólogos no pueden afirmar que el latente problema de hambruna mundial esté ya resuelto.

Si bien, todo esto de la biotecnología se considera científicamente perfecto, los biotecnólogos extrañamente no han contando con que los suelos están feneciendo de agotamiento y que se están quedando sin hálito vital que transmitir a los cultivos que encima de ellos se siembran. Tal parece que consideran que el tema de los fertilizantes está resuelto, que es un caso cerrado para la ciencia; que así son los fertilizantes y



no queda nada más por hacer al respecto, como si fuera una parte de la agroquímica ya agotada, un terreno ya explorado y totalmente descubierto.

Nosotros no lo creemos así. Sobre ésto, ha estado investigando Bioteksa. Ha creado una nueva y totalmente diferente clase de nutrientes vegetales. Los contenidos básicos son los mismos, no se puede cambiar la biología de las plantas para que el nitrógeno, fósforo, potasio y los demás nutrientes sean sustituidos; eso sería como cambiar la estructura material de la vida misma.

Lo que ha hecho Bioteksa es cambiar la interfase de los nutrientes que elabora, de tal forma que funcionen en suelos y ambientes donde otra clase de fertilizantes no lo harían. Sobre ésto se va a tratar más adelante en esta obra.

Biofortificantes edáficos

Hace 30 años, Prentis vaticinó que los organismos genéticamente modificados desvanecerían la necesidad del uso de los fertilizantes porque los vegetales modificados serían capaces de valerse por sí mismos. Nada de eso ha ocurrido y parece que tampoco sucederá en los próximos 30 años.

En su artículo “8 soluciones para un mundo hambriento”, Rosner hace eco a la profecía de Reddy (genetista y microbiólogo de la Universidad de Michigan), por la cual anuncia la desaparición de los fertilizantes debido a que se están desarrollando microbios que fijarán en la plantas el nitrógeno, fósforo, potasio y todos los elementos vitales necesarios para su sobrevivencia.

A la fecha, Reddy ha examinado poco más de 300 especies de microorganismos del suelo y los ha ensamblado en un coctel microbiano que, según sus palabras, estará diseñado para que “reduzca la necesidad de fertilizantes de fósforo y nitrógeno, que proteja a las plantas de agentes patógenos, y que revitalice los suelos para cualquier clase de cultivo”.

Los experimentos de Reddy con el tomate, comparando sus microbios contra los fertilizantes comerciales, aumentaron casi 90% la producción y con los tomates de invernadero tu-



vieron una producción aún mayor. También ha probado, con resultados parecidos, en berenjenas, zacates forrajeros y otras especies. Al coctel de microbios se le denomina *fortificador de suelos (bioenhancer)* y tiene la cualidad de auto mantenerse por al menos un año y de algún modo, hacer a ese suelo más limpio y saludable.

Si bien este coctel biofortalecedor es un desarrollo biotecnológico, no es propiamente de la clase de biotecnología que produce organismos genéticamente modificados, más bien entra en una clasificación diferente. De hecho, el creador del fortificador de suelos lo vende como “producto microbiano no modificado genéticamente, orgánico y sustentable”. En cierta forma, es un *biorremediador* de suelos, pues de la biorremediación de sitios contaminados, es de donde surge esta idea de mejorar y enriquecer suelos de cultivo.

Esta tecnología se ofrece en el mercado como la solución al problema de la fertilidad de los suelos y con ello, el fin del uso de los fertilizantes y otros agroquímicos en la agricultura, pues según los impulsores de los biofortificantes edáficos, los microbios obtendrán todos los elementos del suelo y los transferirán a las plantas.

No cabe duda que es demasiado arrojado afirmar esto. La pregunta entonces es, ¿qué sucederá cuando los microbios hayan agotado el fósforo, el potasio o el azufre del suelo? ¿De dónde obtendrán los elementos agotados? Porque estos microorganismos van a estarlos fijando y transfiriendo a las plantas generación tras generación, por lo cual, forzosamente se requerirá de una fuente de materiales nutritivos que reavive la capacidad fitoproductiva del suelo y ésta, no puede sino venir de los nutrientes vegetales.

Reguladores de crecimiento y antimicrobianos

Reguladores de crecimiento

Debe quedar en claro que los *fitorreguladores* o reguladores del crecimiento vegetal no son nutrientes. Son hormonas y otra clase de compuestos químicos utilizados para acelerar, disminuir o detener procesos fisiológicos en las plantas; en pocas palabras, estimulan la productividad vegetal en cualquiera de sus estructuras. El nombre por el cual se conoce actualmente a los reguladores de crecimiento, es el de *bioestimulantes* (Tabla 12.1).



Tabla 12.1. Grupos de Reguladores de Crecimiento Vegetal

Antiauxinas
Auxinas
Citoquininas
Defoliantes
Inhibidores de etileno
Liberadores de etileno
Gametocidas
Giberilinas
Inhibidores del crecimiento
Retardantes del crecimiento
Estimulantes del crecimiento
Reguladores del crecimiento no clasificados

Los bioestimulantes afectan la floración, el desarrollo general de la planta, el crecimiento de las raíces, hojas, tejidos y otras

partes; realzan el tamaño y color de las frutas, aceleran o evitan la caída de las hojas, entre otras funciones. Es decir, inciden en todos los aspectos vegetativos y generativos de los vegetales.

La fitorregulación es un método biotecnológico mediante el cual se utilizan extractos vegetales o sustancias afines que son bioquímicamente aisladas y/o sintetizadas. Se denominan *sustancias inteligentes*, pues la bioinformación que portan, es la llave que abre mecanismos disparadores.

Algunos grupos de fitorreguladores son los siguientes: las auxinas, las antiauxinas, las citoquininas, las abscisinas, los defoliantes, los inhibidores, las giberilinas, los retardantes, los inhibidores de etileno, entre otros grandes grupos.

Algunos compuestos químicos catalogados como reguladores de crecimiento tienen otras propiedades además de la hormonal, a saber: como herbicidas, acaricidas, fungicidas o insecticidas, y se han empleado en las plantas para acompañar el proceso de desarrollo y crecimiento de los cultivos. El mal manejo de estos productos suele provocar efectos colaterales en los cultivos.

No obstante, no hay que olvidar que para que una planta o un cultivo crezca, se desarrolle y fructifique, no bastan las hormonas reguladoras. Para que éstas funcionen, la planta necesitará nutrientes; es decir, los elementos que le aportarán los recursos necesarios para llegar a ser tan vegetativa o tan generativa como las hormonas presentes le indiquen.

Antimicrobianos

Se considera que en el planeta existen alrededor de 250,000 especies de plantas superiores. Las relaciones entre ellas y los ecosistemas a los que pertenecen, así como su relación con los enemigos naturales –como los herbívoros, los parásitos o los patógenos–, y el hombre –tomando en cuenta el manejo integral que éste hace de los campos de cultivo–, son muy complejas.

Las estrategias de defensa y/o de sobrevivencia de las plantas varían de una a otra especie y de acuerdo a cada región. En el caso de las especies de consumo humano, fluctúan entre una y otra variedad.



Debido a la inmovilidad manifiesta de las plantas, éstas han desarrollado evolutivamente un mecanismo de defensa que incluye una amplia gama de estructuras como las espinas o sustancias químicas como antivirales, antimicrobianos, antiparasitarios y antiherbívoros (insectos o vertebrados superiores), a fin de defenderse de los enemigos externos o de aquellos que las dañan desde su interior (Tabla 12.2).

En el caso de las plantas utilizadas por el hombre para su beneficio, habida cuenta que, desde la perspectiva de los ecosistemas naturales, las cultiva en cantidades anormales, entonces resulta que la sobrepoblación de una misma especie en decenas o cientos de miles de hectáreas, representa un manjar para toda clase de organismos dispuestos a encontrar un medio para alimentarse y reproducirse.

Bajo estas circunstancias, los pequeños bosques de maíz, trigo, arroz, papas, nogales, duraznos, manzanas o de cualquier otra especie que se trate, están inermes ante los millones de invasores que dirigen todo su potencial infectante, parasitante o herbívoro hacia ellas. Y en este escenario, las defensas naturales que poseen son insuficientes para controlar los ataques simultáneos de miríadas de hongos, bacterias, protozoos, nematodos, ácaros, insectos o de cualquier otro tipo de organismos.

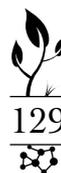
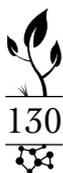


Tabla 12.2. Defensas naturales de las plantas

Defensas físicas	Metabolitos secundarios			
	Artefactos	Fenoles	Terpenos	Proteínas de defensa
Espinas	Glicosidos fenólicos	Monoterpenos	Peroxidasas	Alcaloides
Ganchos	Fenoles ligados		Polifenol oxidasa	
Navajillas	Lignina	Diterpenos	PAL	Aceites mostaza
Ceras	Taninos condensados		Taninos hidrolizables	
Suberina				

A la luz de lo mencionado, los cultivos requieren la mano del hombre para mantener a raya a los organismos que buscan cebarse de ellos y en consecuencia, conservarse libres de enfermedades o de lesiones que perjudiquen su desarrollo normal.

Los científicos han descubierto a varias de esas *sustancias protectoras*, como las *fitoalexinas*, logrando sintetizarlas para administrarlas masivamente a las plantas de cultivo y de esta forma, protegerlas de algunas enfermedades.



Inmunología vegetal

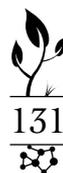
Resistencia sistémica adquirida

En la naturaleza las plantas resisten exitosamente toda clase de invasiones microbianas. Cualquiera que sea la época del año, nunca están exentas de infecciones patogénicas o infestaciones parasitarias. Aunque en un principio no había forma de explicárselo, los antiguos naturalistas lo percibieron cuando observaron que algunas plantas encapsulaban infecciones o parásitos evitando con ésto la dispersión del mal en todo su organismo, y por tanto, su propia muerte.

Hoy está esclarecido este fenómeno. Se ha demostrado que cuando el sistema interno de la planta reconoce la invasión de un cuerpo extraño, dispara una reacción que se conoce como *respuesta hipersensitiva* (HR), que se caracteriza por la rápida muerte de la célula infectada. Muchas células muertas causan necrosis en el tejido, con lo cual se sella el contacto con las células vivas y evita que el virus o bacteria puedan esparcirse y acabar con la planta.

A partir de la corroboración de la respuesta hipersensitiva se llegó a la aceptación de la hipótesis que indica que las plantas también tienen un sistema inmunológico, en cierta forma, similar al de los animales. Se buscó mayor información científica para integrar esa idea en un marco general explicativo. Así, se llegó a identificar y a aceptar lo que ahora se conoce como *resistencia sistémica adquirida* (systemic acquired resistance o SAR por sus siglas en inglés).

La resistencia sistémica adquirida, de acuerdo a Durrant y Dong, es un mecanismo de defensa inducido que confiere a las plantas una protección duradera contra una amplia gama de microorganismos patógenos. Esta resistencia microbiana la extiende de la planta a todos sus tejidos, desde la raíz hasta las hojas.



De acuerdo con estos autores, las plantas han desarrollado lo que ellos llaman *mecanismos inducibles de defensa*, que están hechos para responder a cualquier ataque de agentes patógenos.

En la década de los años sesenta del pasado siglo, Ross demostró cómo la planta de tabaco desarrolló resistencia a infecciones secundarias del virus del mosaico, que ataca a esa especie.

Se sabe que el SAR puede ser activado en numerosas plantas por patógenos que causan necrosis en los tejidos y que la resistencia adquirida por la planta puede durar toda su vida. Esta resistencia es de amplio espectro, ya que abarca virus, bacterias, e incluso, hongos.

Los genes de las plantas asociados al control de las patogénesis o enfermedades, son conocidos como *PR-genes*. Las proteínas PR fueron descubiertas a principios de la década de 1970 por Van Loon, quien observó el incremento de ciertos tipos de proteínas después de que ocurría una infección en la planta.

Todavía no se tiene en claro el papel de los PR-genes dentro de la resistencia sistémica adquirida de las plantas; es decir, se desconoce si el efecto inmunitario se debe a un conjunto de proteínas PR o a unas cuantas proteínas específicas.

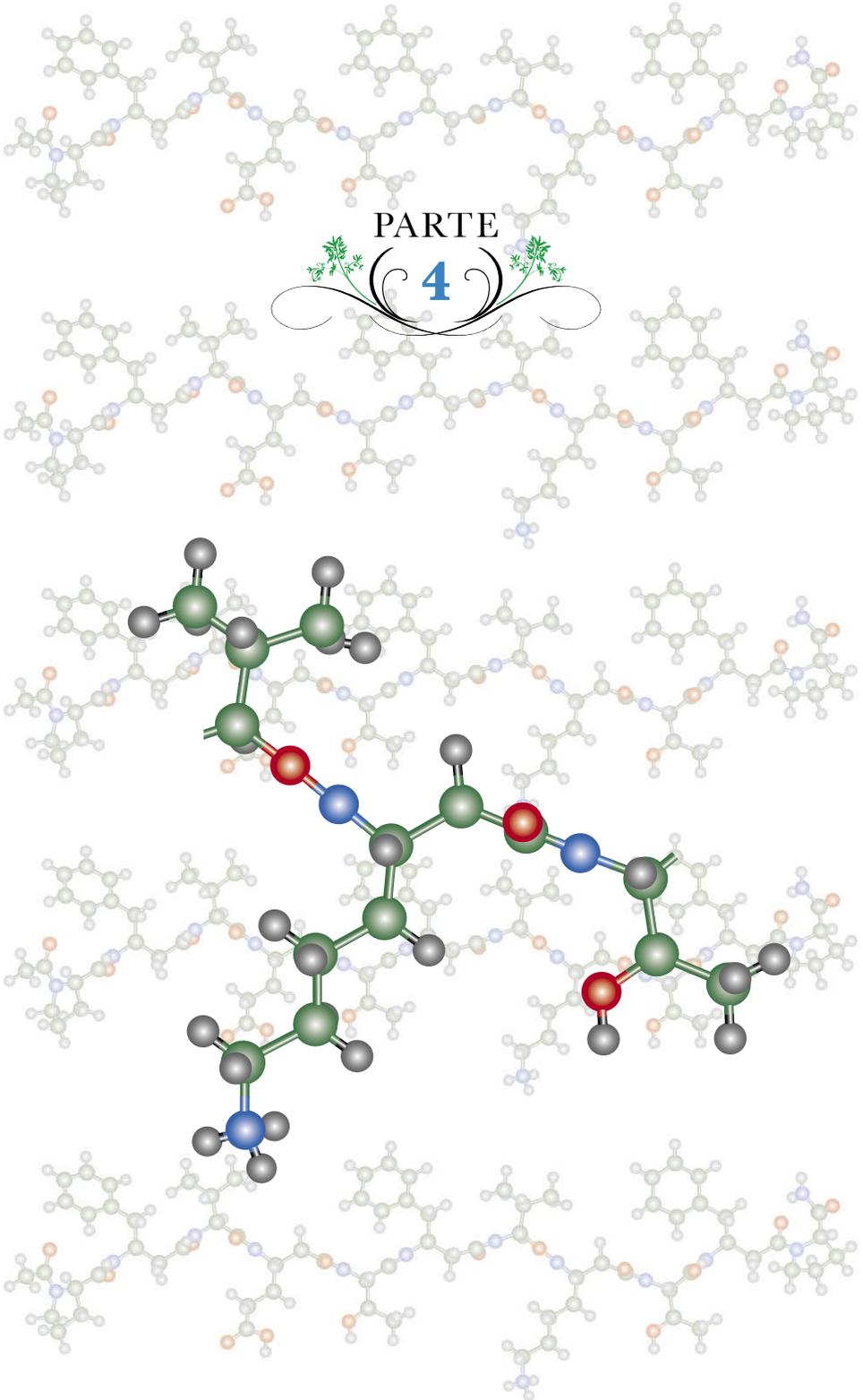
Cabe destacar que la resistencia adquirida por las plantas contra los patógenos que las atacan no es una característica hereditaria, puesto que sólo funciona en la planta que fue expuesta dos o más veces a un patógeno. Este mecanismo de defensa se asemeja al de las vacunas humanas, es decir, que únicamente sirve a la persona vacunada, pero los hijos de la persona vacunada deberán ser vacunados también para adquirir inmunidad contra la enfermedad en cuestión.

Por otro lado, es importante destacar ésto para notar la diferencia: los insectos que desarrollan resistencia a los insecticidas heredan esta capacidad a los miembros de las siguientes generaciones. Lo mismo ocurre con las bacterias que despliegan resistencia a los antibióticos y traspasan esa competencia genética a su descendencia.

En el primer caso, se trata de un desarrollo inmunológico contra microorganismos. El segundo de una expresión genética contra una sustancia química.

PARTE

4



Alimento para plantas

Comer para vivir

De todos es sabido que el hombre –como sus mascotas, sus animales de cría y el resto de los animales silvestres, sean del agua o de la tierra–, necesita comer para sobrevivir, digerir lo que ingirió y obtener de los alimentos los nutrientes necesarios para crecer y desarrollarse sanamente.

Lo mismo ocurre con las plantas, particularmente con aquellas que el hombre cultiva para su beneficio, ya sea para consumo humano, ornato, producción de medicamentos, alimentación de ganado, investigación o para cualquier otro fin que estime conveniente.

Los organismos a veces pueden vivir subalimentándose, pero el resultado es que sus genes pierden la capacidad de expresarse y los individuos crecen esmirriadamente sin que haya un verdadero desarrollo.

Si se trata de vegetales, su crecimiento reflejará la insuficiencia alimentaria a la cuál estuvieron sometidos; su tamaño será más bajo de lo normal, su carácter arbustivo se reducirá a unas cuantas ramas y pocas hojas, la raíz tendrá una escuálida estructura, la fructificación será igualmente escasa y con carencias de aceites, azúcares y otras sustancias. En pocas palabras, la calidad del producto dejará mucho que desear y su vida se habrá acortado.



Alimento para plantas

Al igual que los animales de cría, los cultivos demandan cuidados intensos y sostenidos como bien lo saben los agricultores. Así como no se puede dejar de alimentar y ordeñar por un día al ganado lechero, tampoco se puede dejar de regar o hacer el corte o levantar la cosecha cuando así lo indique el momento.

Las últimas generaciones de agricultores, particularmente las del siglo XX, han alimentado a sus cultivos con fertilizantes o con abonos. De hecho, alrededor de 65% de los campos de México son abonados con materia orgánica, mientras que el 35% restante utiliza fertilizantes químicos.

Estos últimos, obtienen sus fertilizantes a través de distribuidores de origen, primarios, secundarios o terciarios. Siendo los de origen quienes directamente generan la materia prima cruda; los primarios son aquellos que transforman la materia prima en artículo comercial; los secundarios, los que distribuyen el artículo comercial tal cual les llegó del distribuidor primario o lo reempaquetan; y los terciarios, los que revenden y a veces vuelven a reempaquetar los productos de los distribuidores secundarios.

En ocasiones el cliente no advierte la diferencia, considera que el fertilizante simplemente cumple su función con el simple hecho de ponerlo sobre el cultivo y que lo importante es el precio. Otros no conocen la diferencia que existe entre los productos de origen, primarios, secundarios o terciarios, y a veces adquieren de un tipo de producto y después de otro. Son pocos los que notan la diferencia. No se trata del costo, sino de la calidad del producto. Los fertilizantes de origen y primarios son de mejor calidad, mientras que los del tipo secundario y terciario suelen perder calidad por la manipulación del producto. Aunque la etiqueta indique el grado del producto en cuestión, siempre habrá un desgaste a lo largo de la cadena de distribución y venta.

Por mencionar un ejemplo más común, podemos decir que es similar a la diferente calidad que hay en los productos procesados del cerdo, a saber: jamón, tocino, chorizo, chuletas o manteca. Productos que pueden provenir de cerdos de granjas

certificadas, o de pequeñas crías de granja, o de porquerizas clandestinas; pero sin duda habrá, diferencia entre unos y otros, y los riesgos a la salud serán casi inexistentes en el primer caso, moderados en el otro, pero sumamente altos en el último.

Si uno revisa los viejos textos que sobre fertilizantes publicaron los estadounidenses a fines del siglo XIX y a principios del siglo XX, uno podrá ver que las fórmulas, los grados y los cálculos de uso no han variado. Actualmente, se utilizan los mismos compuestos que hace 100 años. Ya que desde que surgieron los fertilizantes químicos y se identificaron los elementos vitales y los compuestos que se aplican a los campos de cultivo para que las plantas los aprovechen, ha sido poca la necesidad de cambiarlos.

Este pequeño cambio se refiere a la decisión de utilizar fertilizantes líquidos además de los sólidos a los que los agricultores estaban acostumbrados. Sin embargo, tuvo que haber una transformación en las costumbres de los consumidores para que tomaran la determinación de utilizar fertilizantes líquidos.

Fue hasta 1950, la mitad del tiempo entre 1890 y 2010, momento aproximado en el que surge el comercio establecido de los fertilizantes químicos y que los usuarios de esta clase de productos comenzaron a probar los fertilizantes líquidos.

Los fertilizantes líquidos generaban muchas dudas en los agricultores, pues para ellos, ver la materia sólida sobre los campos sembrados o mezclarla ellos mismos en agua y regarla, era la mejor garantía de que el suelo estaba enriqueciéndose y de que los componentes químicos se integrarían a las plantas.

El descubrimiento de que las plantas no se alimentan únicamente a través de las raíces, sino que también lo hacen a través de las hojas, hizo pensar a algunos investigadores que posiblemente la manera acostumbrada de aportarles los fertilizantes a los cultivos no era la única y que tal vez, pudieran administrárseles a manera de solución a través de las hojas. Sin embargo, esta idea tardó años en ser aceptada, pues los usuarios de fertilizantes no se rindieron tan fácilmente ante la evidencia.

Entre los primeros en aceptar probar los fertilizantes líquidos o *soluciones fertilizantes* en grandes extensiones de terreno, fueron los clubes de golf de Estados Unidos. Con reticencia y



mucha desconfianza, la *Sección Verde* de la asociación de clubes de golf aceptó realizar algunas pruebas aisladas de estos nuevos productos, asumiendo que la solución escurriría de las hojas al suelo y que de la superficie del suelo se filtraría hasta las raíces, donde las plantas lo aprovecharían. No estaban abiertos a creer en eso que llamaban *nutrición foliar*.

Por otro lado, quienes en 1950 manufacturaban estas soluciones les agregaban vitaminas A y E, además de varios elementos traza, aduciendo que darían más vida y resistencia a los pastos ante el incesante caminar de los golfistas. En cambio, los de la Sección Verde tenían la sospecha de que no funcionarían, ya que anteriormente se habían aplicado vitaminas en los fertilizantes sólidos sin ningún resultado.

Los golfistas no se convencieron de las bondades de las soluciones fertilizantes y las rechazaron. Empero, ésto abrió la puerta para que esta nueva presentación de fertilizantes pudiera llegar al mercado y abrirse camino entre los pequeños productores, en los invernaderos, en los jardines de las estrellas, entre los floricultores y otros más.

Las buenas ideas de unos, a veces no lo son para otros. Los productos comerciales, no obstante lo novedoso y útiles que puedan ser, tienen que sobrevivir en un mundo de exhaustiva competencia, evitar ser eliminados por los más fuertes y encontrar su sitio. Es un esfuerzo cuesta arriba. Cuando lo alcanzan, el esfuerzo se transforma en éxito.



Hasta ahora nosotros no conocemos ningún trabajo de investigación respaldado por los fabricantes de fertilizantes químicos. Se necesita tal investigación, así nosotros podremos conocer los hechos acerca de esos productos tan profundamente como nos importa el cuidado de nuestro césped.

Green Section, 1950
United States Golf Association

Del laboratorio al mercado: *cottage field industry*

La invención, la innovación y el desarrollo de nuevas ideas que en poco tiempo se convierten en originales artículos de consumo, invariablemente causan recelo. Esto ocurrió a Bioteksa, cuando el cuerpo directivo decidió entrar al mercado de los fertilizantes con sus productos.

Bioteksa se originó en torno a tres personas, dos empresarios fruticultores, los hermanos Arsenio y Daniel González García, exitosos productores y exportadores de la nuez *Carya illinoensis*, y un tecnólogo bioquímico, Luis Alberto Lightbourn Rojas, con experiencia en el desarrollo y fabricación de productos químicos para el campo. Inversión de capital e inversión intelectual, así fue el comienzo.

Durante la década de los noventa del pasado siglo XX, Luis Alberto desarrolló una tecnología propia que mejoraba la eficacia de los fertilizantes convencionales. Los nogales de los hermanos González García habían recibido los beneficios de esos productos. Los fertilizantes de otras marcas que habían utilizado con anterioridad no competían con la calidad de los producidos por Lightbourn Rojas.

Sin embargo, por azares del destino, Lightbourn Rojas se retiró del negocio para hacer otras cosas menos científicas, pero cierto día se le acercó Arsenio González inquiriéndole por que no se dedicaba de nueva cuenta a la manufactura de fertilizantes ya que extrañaban y necesitaban sus productos, pues estaban insatisfechos con los que sus proveedores les abastecían.

Convinieron en crear una sociedad y fundar una pequeña empresa para surtir de producto a las huertas nogaleras de la familia. Algo así como una *cottage field industry*. Es decir, una entidad industrial dentro de los lindes de la propiedad, dedicada exclusivamente a fabricar fertilizantes para consumo propio. Podría considerarse que era una fábrica primaria de fertilizantes: obtenían las materias primas, elaboraban los productos según fórmulas propias, envasaban y se enviaban al rancho para su uso (Fig.14.1).

Pero, ¿qué es un *cottage field industry*? Es una forma de elaborar algún producto para el autoconsumo a través de la transformación de insumos propios, que culmina en un negocio. Es



un concepto que define a un taller o actividad industrial que se crea dentro de una granja pecuaria o un rancho agrícola, para que ahí mismo se fabriquen ciertos artículos que son necesarios para el funcionamiento de los mismos.

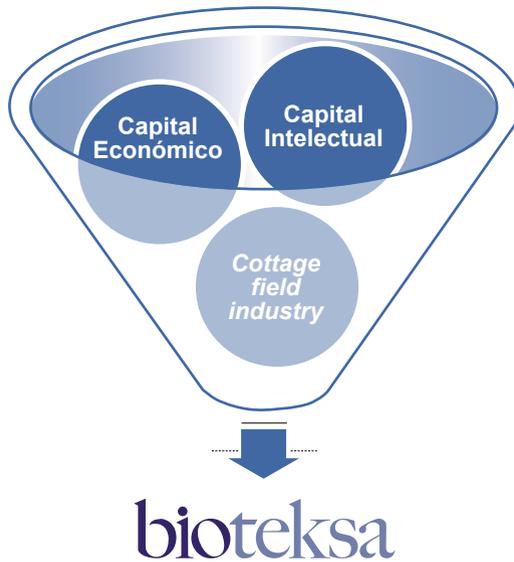


Fig. 14.1. Proceso de formación de Bioteksa

También puede referirse a la transformación de productos primarios –excedentes de la producción comprometida–, como leche o frutas sobrantes, en quesos, yogurts o conservas dulces. En un principio, la elaboración de estos alimentos sirve para el consumo de los dueños y residentes de esas granjas o ranchos, pero a veces se comercializan en la comunidad. En esencia, este esquema fue el comienzo de Bioteksa.

Lo que en ese momento desconocían los socios, es que Luis Alberto no mezclaba en los tanques los diferentes insumos de los fertilizantes que ellos empleaban, como *tepacheramente* lo hacen muchos distribuidores secundarios o terciarios, sino que, con las habilidades de científico, había imaginado cual sería la forma más idónea para alimentar a las plantas; posteriormente logró llevar a cabo una original forma para que los nutrientes fueran mejor aprovechados por las plantas.