

Aporte de la química verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable

Laura Bertha Reyes-Sánchez*

ABSTRACT (Green Chemistry's contribution in the construction of socially responsible science)

Between teachers and scientists the sustainable and supportable development are neither consensual nor conscientious concepts in Latin America; on the contrary, they are indeed an essential part of a conceptual argument which is necessary to approach from the educational ambit in order to be decanted to the citizenship. The lack of clearness at this respect allows us to consider the Green Chemistry as a supportable one, but at the same time, it is also designated sustainable — in agreement to the sustainable development concept affixed by the UN in 1987. However, beyond the simple language, a sustainable system is not conceptually the same than a supportable one, and they do not mean the same neither socially nor economically for the development of the region; on the other hand, they do affect all of the aspects of the life, including the educational and scientific development. The objective of this work is to analyze in a critical way the philosophy of the Green Chemistry with respect to the sustainability concept, in order to elucidate how to advance toward a chemical science that is able to contribute with a true development: a chemistry socially responsible whose paradigm is still pending to be established.

KEYWORDS: science, social responsibility, sustainability, green chemistry, education

Hay, y habrá siempre, en el tiempo, una dimensión de degradación y de dispersión. Ninguna cosa organizada, ningún ser organizado pueden escapar a la degradación, la desorganización, la dispersión. Ningún viviente puede escapar a la muerte. Los perfumes se evaporan, los vinos se pican, las montañas se aplanan, las flores se marchitan, los vivientes y los soles retornan al polvo....

Morin, 2009

Introducción

La ciencia, como producto de una actividad humana compleja, es una construcción dialéctica del conocimiento en todo su amplio sentido: cualitativa y cuantitativamente (Bernal, 1979). El conocimiento que construye la ciencia se transmite a través de la enseñanza, y la enseñanza, como actividad cognitiva, se desarrolla de forma organizada a través de la educación institucionalizada en el aula escolar. Si se educa a través de la enseñanza y se enseña en la escuela, luego entonces, en la escuela se enseña la ciencia: desde el preescolar y hasta el postgrado (Reyes-Sánchez, 2009).

Hoy, esa ciencia que se practica y enseña se enfrenta a problemas tan complejos como son: el deterioro del *medio* en que

habitamos y la *educación* requerida para abordar la problemática ambiental actual y alcanzar un *desarrollo sostenible* (Novo, 2010). Resolver estos problemas complejos que el medio nos plantea para la existencia de la vida en el planeta implica la necesidad de visualizar, observar, estudiar e interpretar éstos desde todas las diferentes perspectivas de la ciencia a fin de conocerlos en toda su *integridad* y no en su parcialidad, para así estar en posibilidad de ofrecer alternativas de solución y avanzar hacia la construcción del desarrollo sostenible. Significa a su vez, que alcanzar el desarrollo a través de la enseñanza y la práctica de la ciencia, requiere de planteamientos, metodologías e interpretaciones que nos permitan crear y acceder a un conocimiento *integrado*, e implica necesariamente, *la práctica y enseñanza de pensamientos, procedimientos y acciones interdisciplinarias* que hagan posible no sólo abordar el cómo resolver los problemas ambientales complejos, sino también, cambiar la realidad social Latinoamericana (Morín, 1993; Perales, 2000; Reyes-Sánchez, 2006b).

Una posible alternativa para crear una ciencia química en el mediano y largo plazo que busque acercarse a este ideal, es partir de la práctica de los procesos amigables con el ambiente y que sean económicamente redituables, que corresponden a la filosofía de la Química Verde (Anastas y Warner, 1998), para desde ese punto avanzar hacia una química que no sólo sea ambientalmente deseable y económicamente redituable, sino *también socialmente viable y éticamente aceptable*. Sin embargo, el problema real es *¿Cómo lograr transitar desde la química verde, hacia esa química que busca acercarnos a la sostenibilidad?, ¿Cómo, cuando ello implica un cambio que necesariamente afecta de manera profunda la forma de pensar, sentir y actuar?*

* Departamentos de Química e Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: lbrs@unam.mx

Fecha de recepción: 13 de marzo 2011.

Fecha de aceptación: 9 de agosto 2011.

Reflexionando sobre ambas interrogantes, resulta imposible dejar de considerar que tanto la preservación de los recursos naturales indispensables a la vida, como su aprovechamiento sostenible, dependen por igual tanto del conocimiento, como de la conciencia de su valor y vulnerabilidad que los profesionales de la química tengan y ejerzan en su práctica cotidiana, así como de la que seamos capaces de transmitir a través de la enseñanza a los estudiantes de hoy, y la que ellos ejerzan en su futuro profesional (Reyes-Sánchez, 2006a), todo lo cual necesariamente **implica un cambio cualitativo, e igualmente profundo en la práctica y enseñanza de las ciencias** (Reyes-Sánchez, 2009). Ese cambio, está por construirse y los protagonistas, somos nosotros.

Antecedentes

La publicación en 1962 del libro “Primavera silenciosa” de Rachel Carson, provocó una inmensa controversia sobre el uso de los pesticidas químicos al alertar al público sobre los peligros asociados a su uso. Mediante la presentación documentada y acuciosa de una gran cantidad de efectos dañinos de los pesticidas al ambiente, la obra demostró cómo éstos en realidad causaban más daño que las plagas que se buscaba erradicar, y no tantos beneficios como se creía; incidiendo magistralmente en el escaso conocimiento que se tenía de los efectos del uso a largo plazo de los pesticidas sobre el ambiente, y la vida de los humanos.

La controversia pública generada por “Primavera silenciosa” (Carson, 1962), no sólo contribuyó con el tiempo al establecimiento de legislaciones ambientales y agencias del gobierno que regulan estos químicos en E. U. A. y muchos otros países, sino que lo realmente importante fue que hizo evidente la interrelación existente entre los diferentes organismos vivos y ayudó a comprender que los humanos no están separados de la naturaleza, sino que están ligados a la Tierra como parte del conjunto interconectado en todo nivel que constituye la vida.

Luego de la publicación de “Primavera silenciosa”, en el año 1968 se reunieron en la ciudad de Roma científicos, investigadores y políticos provenientes de 30 países; el objetivo de su reunión fue el de discutir sobre los cambios que se estaban produciendo en el planeta a consecuencia de las actividades humanas. Los productos a corto plazo de esta reunión fueron: la conformación legal del “Club de Roma” que agrupa a especialistas ambientales a nivel mundial y la publicación en 1972 de su “Informe sobre los límites del desarrollo” (Meadows, 1977), el cual impulsó el inicio de diversos movimientos ecológicos y ambientales en el mundo. Como resultado de estas dos publicaciones, primero se empieza a pensar y discutir sobre la necesidad de una educación ecológica, y posteriormente de una educación ambiental (UNESCO, 1971), pues empezó también a cambiar la concepción de ciencia y, por ende, las de escuela y sociedad (Gieryn, 1999; Durkheim, 2003); se comenzaba a vislumbrar que el progreso continuo pregonado por la ciencia, era más un mito que una realidad ya alcanzada, quedando claro que:

- La ciencia y la tecnología no eran la solución a todos los problemas y por el contrario, la forma en que se aplicaban, eran las causantes de varios problemas sociales y ambientales cuya existencia ya se percibía (Feyerabend, 1981; Meadows, 1977; Ull *et al.*, 2010).
- La ilustración, cuya acumulación de conocimientos debía permitir el acceso a una mejor calidad de vida y generar valores sociales como la democracia, la equidad y la justicia, no cumplía su cometido (Kuhn, 1973; Huffman, 2004; Ull *et al.*, 2010).
- La acción educativa al interior de la escuela no era una vía para, a través del conocimiento, acceder a una mejor vida sino un instrumento de adecuación y selección de individuos, cuya finalidad era y es, reproducir los conocimientos y valores de una determinada cultura para asegurar la continuidad del poder fáctico (Frankl, 1983; Echeverría, 1995; Murga-Menoyo, 2009).

Estaba claro que *la ciencia y su práctica, al igual que su enseñanza tenían que cambiar.*

La Ciencia hacia el desarrollo... ¿sustentable o sostenible?

Si bien existen autores como Gil y Vilches (2005) que basándose en la existencia de amplios consensos ya logrados —como por ejemplo el “Compromiso por una educación para la sostenibilidad” publicado en *Eureka* (2004)—, recomiendan obviar la discusión respecto al significado de “desarrollo sostenible” y centrar los esfuerzos en “convencer al conjunto de la ciudadanía de la necesidad de romper con comportamientos que hoy suponen un grave peligro para todos” *Ibid.*, esto no es una opción para Latinoamérica, pues éste no es un tema consensuado ni concientizado entre sus educadores y científicos; tampoco con la ciudadanía: por el contrario, *es una discusión pendiente e inaplazable*, especialmente cuando desarrollo sostenible y desarrollo sustentable tienen significados de consecuencias muy diferentes para esta región y la afectan en todos los órdenes de vida, incluyendo el desarrollo científico y el educativo, al mermar su desarrollo económico y afectar profundamente su desarrollo social. Si se considera que “El desarrollo sostenible requiere la satisfacción de las necesidades básicas de todos y extiende a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor” (ONU, 1987), entonces es discusión no sólo pendiente, sino trascendente para Latinoamérica, y los marcos docente y científico sus ámbitos naturales para la discusión generadora del cambio necesario. Es por estas razones que a continuación se aborda aquí esa discusión.

El término desarrollo sostenible fue utilizado por Carl Von Carlowitz en 1713, en su libro “Silvicultura económica-Producción maderera *sostenible*” cuyo planteamiento era “No obtener más árboles del bosque de los que pueden crecer en un mismo tiempo”, pero no es sino hasta después de “Primavera Silenciosa” (Carson, 1962) y “Los límites del Crecimiento” (Meadows, 1977) que se da paso al uso de términos y conceptos como sostenible, sustentable, sostenibilidad, desarrollo y

desarrollo sostenible, los cuales forman parte del lenguaje presente en todo tipo de discurso —desde el político hasta el académico—, como formas de referirse indistintamente, a un crecimiento económico progresivo y/o a una concepción de desarrollo ligada al equilibrio del ecosistema, sin que en realidad signifiquen lo mismo, por lo que resulta indispensable revisarlos y consensuarlos, para así concientizarlos:

1. Hace más de cinco décadas, los académicos franceses L. J. Lebreton (1959) y F. Perroux (1963), plantearon que “*sólo se puede hablar de desarrollo si se satisfacen las necesidades fundamentales de La Sociedad, incluyendo la educación, necesidades culturales, espirituales* etc., y no sólo las económicas”. Es decir, un desarrollo que incluye a los seres humanos en todas sus dimensiones.
2. “**Desarrollo sostenible**” fue por primera vez definido por la Comisión Mundial para el Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas en 1987, como “*el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades*” (ONU, 1987).
3. En 1992, durante la Conferencia de la ONU sobre desarrollo sostenible y medio ambiente se reconoce la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra (ONU, 1992).
4. La Carta de la Tierra (ONU, 2000) vincula claramente el logro de la sostenibilidad a una educación formadora de la conciencia necesaria al cambio a fin de comprender la necesidad de establecer formas diferentes de vivir la vida: *respetuosas de la naturaleza y cuidadosas del equilibrio planetario, en el cual nos encontramos inmersos nosotros mismos*.
5. La ONU hace un llamado a trabajar de forma urgente y desde el ámbito educativo para el logro de la sostenibilidad planetaria, instituyendo la *Década de la educación por el desarrollo sostenible: 2005-2014* (ONU, 2002).
6. El *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española* en su vigésima segunda edición (2011), define la existencia de los verbos sostener y sustentar, así como sus adjetivos y los términos sustentabilidad y sostenibilidad según se transcribe textualmente en la tabla 1.
7. La palabra “sustainability” del idioma inglés, en el cual se publican la mayoría de los documentos oficiales de la ONU, significa en español sostenible y no sustentable (Sustain / maintain to: sostener; *Webster’s Dictionary*), y por ello, los documentos oficiales de la ONU en español, hablan de sostenibilidad y no de sustentabilidad.

Luego entonces,... ¿Sostenible o sustentable?

Más allá del léxico, queda entonces claro que conceptualmente, no es lo mismo sostenible que sustentable, tal y como no lo son desarrollo y desarrollismo. Tampoco lo son sus secuencias.

Sostenible se refiere al aspecto interno de la estructura del sistema de que se trate, la que puede permanecer firmemente establecida, asentada, fija, inalterable, inamovible, sosteniendo el sistema gracias a la firmeza de su estructura interna y en

Tabla 1. Significado conforme al *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española*.

Palabra	Significado
<i>Sostener</i>	Mantener firme algo, mantenerse en un medio o en un lugar sin caer o haciéndolo muy lentamente.
<i>Sustentar</i>	Proveer a alguien del alimento necesario; conservar algo en su ser o estado.
<i>Sostenible</i>	“adj. Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes”
<i>Sustentable</i>	“adj. Que se puede sustentar o defender con razones”
<i>Sostenibilidad</i>	“f. Cualidad de sostenible”
<i>Sustentabilidad</i>	“La palabra sustentabilidad no existe en el diccionario”

base a ella. **Sustentable** es lo *supra-* o *superestructural* de ese mismo sistema, **lo que requiere que se lo esté alimentando**, proporcionándole los medios de sobrevivencia y persistencia, a fin de que pueda extender su acción, no sólo en su ámbito (espacio) sino también a través del tiempo (Perroux, 1984; Novo, 2006; Reyes-Sánchez, 2009; *Diccionario Real Academia Lengua Española*, 2011).

Un sistema *sustentable* es pues aquel que requiere estar siendo alimentado; que necesita que se le proporcionen los medios a partir de los cuales él persista sin deterioro —o con un mínimo menoscabo—, a través del tiempo (Margalef, 1997; Morín, 1981 y 1993; Reyes-Sánchez, 2009). **Se alimenta de los recursos de otros sistemas para crecer a costa del obvio deterioro de aquellos sistemas de los cuales importa la energía que requiere para sostenerse**. En esencia, el contenido de sustentable es el siguiente: los sistemas económico-sociales han de ser reproducibles —más allá del corto plazo—, sin deterioro de los propios ecosistemas sobre los que se desarrollan. Para ello, hay que alimentarlos o proporcionarles los medios de persistencia de forma exógena: **extrayendo la materia y la energía de la que se alimentan para desarrollarse, de otros sistemas y a costa de esos otros sistemas**.

Analizando esto desde el punto de vista termodinámico, puesto que en un proceso irreversible y espontáneo, para todo sistema:

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{del sistema}} + \Delta S_{\text{alrededores}} = 0$$

Tenemos por tanto que en el equilibrio:

$$\Delta S_{\text{del sistema}} = - \Delta S_{\text{alrededores}}$$

Es decir, todo proceso tiene un costo energético y conlleva un incremento de la entropía. Sin embargo, un sistema puede importar energía libre de otro (alimentándose de la energía de ese otro), para disminuir su entropía a costa del incremento de la entropía de aquel de quien se alimenta. Se trata por tanto de una energía de signo negativo y por ello ahora: $\Delta S_{\text{del sistema}} = + \Delta S_{\text{alrededores}}$.

Este proceso es contrario a la Segunda Ley de la Termodinámica e implica que finalmente se llegará a una situación de crisis. En este punto y, dado que lo anterior pareciera poco fundamentado, justo es reconocer la polémica que pudiera generar la aplicación de la Segunda Ley de la Termodinámica al ambiente en que vivimos y los sistemas económicos y sociales que los seres vivos constituimos; sin embargo, en realidad es copiosa la información existente acerca, tanto de la Segunda Ley como de la entropía, probabilidad y orden, en relación con los sistemas vivos (Margalef, 1977) y, de hecho, ya desde 1947 Schrödinger planteaba en su libro *What is life?*, “que la conservación y aumento de la organización de los seres vivos se superpone o es mantenida por una *contracorriente de degradación de energía*”; encontrando así la forma de indicar que los organismos —y por tanto los ecosistemas— se alimentan de «entropía negativa» (*Ibid*). Por otro lado, si la generalización de la Segunda Ley de la Termodinámica al universo como sistema cerrado, es aceptada como una muerte térmica que desde la perspectiva de Boltzman conduce hacia la mayor probabilidad física de dicho sistema, y ésta es igualmente aplicable a los sistemas abiertos, ¿por qué no habría de ser aplicable a todo sistema biológico y ecosistémico como sistemas abiertos que son? (Morin, 1981). Sin embargo, el universo no está cerrado sino en continua expansión y, “la expansión del Universo esquiva la amenaza de la muerte térmica y provee un gradiente de disipación de energía apropiado, al que se une nuestro sistema solar y la vida entera” (Gal-Or, 1972) pues no hay necesariamente exclusión entre orden y desorden, y sí complementareidad entre fenómenos desordenados y organizadores (Progogine, 1974), ya que “el orden viviente es tan refinado y delicado que sería de una fragilidad extrema, si precisamente su refinamiento no le permitiera manipular el desorden en su provecho, y sobre todo, regenerarse y reorganizarse permanentemente” (Morin, 1981).

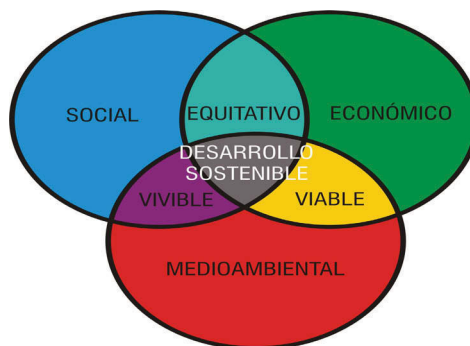
Así que volviendo a la diferencia entre un sistema sustentable y aquel que es sostenible, y para que esto quede claro, se puede analizar cómo el proceso de incremento del bienestar general del Primer Mundo, significa no sólo que ha alcanzado un gran desarrollo sustentable, sino también que éste implica un gran costo energético; sólo que en su caso, su nivel de confort ha ido aparejado a una disminución de su entropía general —lo cual es obviamente contrario a la Segunda Ley de la Termodinámica—, ya que la conservación de sus ecosistemas se alimenta o sustenta de forma exógena, a costa del incremento del deterioro de “sus” alrededores: África, parte de Asia y Latinoamérica. De esta forma, ha logrado que sus sistemas económico-sociales sean reproducibles con bajo impacto en sus ecosistemas naturales —pues consumen grandes cantidades de recursos y de energía importados del Tercer Mundo, los que tienen gran valor pero nos pagan a muy bajo costo, mientras que a la vez ellos conservan sus recursos naturales con un deterioro mínimo—, lo cual se manifiesta de diversas formas y en distintos grados: para empezar, un nivel y ordenamiento económico que le permite escolarización total y por tanto menor nivel de ignorancia con analfabetismo prácticamente

inexistente; nivel alimenticio satisfactorio y por tanto una baja tasa de desnutrición; condiciones sanitarias humanas y en general, menor pobreza, inequidad e injusticia. Pero todo ello a costa de la importación de energía de otros sistemas —en forma de materia prima, mano de obra barata y recursos no renovables del Tercer Mundo—, con el consecuente incremento en él del deterioro de estos mismos parámetros: desorden social y económico, ignorancia, pobreza, inequidad e injusticia. Por ello, algunos humanistas europeos hablan ya de una deuda histórica hacia el Tercer Mundo (Novo, 2006). **La deuda real que tienen con el tercer mundo, es sin embargo, mucho más que histórica** (Reyes-Sánchez, 2009).

Sustentable es pues, un concepto de orden fundamentalmente económico (una interpretación economicista del desarrollo que en realidad genera sólo desarrollismo), el cual se basa en la sustracción de todo tipo de recursos de los cuales alimentarse para generar “desarrollo”, en detrimento de aquellos países, regiones o sociedades de quienes se alimentan; no importando los costos sociales y ambientales que ello implique para los seres y naciones de donde extraen dichos recursos. Al ser esto contrario a la segunda ley de la termodinámica, la economía basada en este concepto está hoy en crisis (Novo, 2006). En contraste, la **sostenibilidad es un principio de carácter antropocéntrico**, que expresa fundamentalmente nuestro respeto por las generaciones humanas futuras **con equidad y justicia**; nuestro deseo por preservar, el mayor tiempo posible, las condiciones de vida en la Tierra para todos los seres vivos.

Desarrollo sostenible es, como antes se dijo: el desarrollo que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987, 1992, 2000 y 2002). Para ello, las actividades humanas no deben sobrecargar las funciones ambientales, ni deteriorar la calidad ambiental del planeta; ahora queda claro que el *crecimiento económico, el uso racional de los recursos naturales y el ambiente* están íntimamente relacionados, y además, que esto sólo es posible en un marco de **equilibrio social, económico y ambiental** (*Ibid*).

El verdadero desarrollo no busca depredar, sino conservar los ecosistemas para las generaciones humanas futuras; para **TODAS** las comunidades en el planeta, y no sólo para las del



Esquema 1. Los tres pilares del desarrollo sostenible (ONU, 2000).

Primer Mundo. Lograrlo exige de las comunidades docentes y científicas crear e impulsar a través de la educación en todos sus niveles, respuestas *resilientes* en la ciudadanía, pues un progreso global es entonces posible sólo a través de la construcción y amalgamación de todos y cada uno de los progresos locales: *integrándolos*.

El *desarrollo sostenible* es pues un proceso *integrado*; como *integral* debe ser la ciencia y la educación que lo generen. La *integración* de sectores, agentes, conocimientos, potencial humano, bienes naturales, tradiciones culturales, saberes propios, etc., es un requerimiento esencial al desarrollo, pero es también *indicador del grado de sostenibilidad del desarrollo alcanzado* (Novo, 2006). Por el contrario, la falta de integración es una de las características del subdesarrollo; por ejemplo: la compra y entrega masiva que hizo el gobierno mexicano de computadoras para comunidades indígenas en las que no hay corriente eléctrica; redes de transporte insuficiente para áreas de elevada densidad poblacional y, en contraste, grandes vialidades en zonas de baja densidad poblacional pero grandes recursos económicos; hospitales sin doctores, maestros y estudiantes sin escuelas, bibliotecas sin libros, inocentes que están encarcelados y asesinos flagrantes que están libres, etc.).

Y en todo esto,... ¿Qué tiene que ver la Química Verde?

Antes de “Primavera silenciosa” (Carson, 1962) todo tipo de residuos de los procesos químicos eran liberados directamente al aire, agua y suelo. La capacidad biótica límite del planeta Tierra se percibía como ilimitada para absorber las transformaciones provocadas por los seres humanos (Gómez, 2004). Después de “Primavera silenciosa”, el mundo supo que el problema de los productos químicos liberados al ambiente no era únicamente debido a su toxicidad, sino también a su capacidad para persistir en los organismos por medio de la acumulación en los tejidos grasos (bioacumulación), hasta llegar a niveles intolerables.

Como se mencionó al inicio de este trabajo, la controversia pública generada, contribuyó al establecimiento de agencias gubernamentales, legislaciones, protocolos y acuerdos internacionales que regulan los productos químicos (EPA: Pollution Prevention Act, OECD, BUA: Comité asesor sobre los principales compuestos químicos de relevancia ambiental) y todo un conjunto de acciones ambientales a nivel institucional (ONU y UNESCO), gubernamental y de las O. N. G.'s en pro del respeto a la vida en el planeta. Es en 1990, a partir de la formación de la EPA en E. U. A., que se busca prevenir la generación de contaminantes a través de diversos medios como los controles de ingeniería, control de inventarios, optimización de procesos y desarrollo de un nuevo concepto para la creación de procesos y productos químicos, dando origen a la *Química Verde*.

La Química Verde (Anastas y Warner, 1998) surge como una filosofía de trabajo cuyo objetivo primordial es prevenir la contaminación en vez de remediarla. Propone la realización de un esfuerzo colectivo para reducir al mínimo, o de ser

posible eliminar por completo la contaminación *desde su origen*, mediante la realización de un conjunto de acciones como: utilizar procesos “limpios”, evitar al máximo el desperdicio o uso indiscriminado de materias primas no renovables, evitar el uso de materiales tóxicos o contaminantes en la elaboración de productos químicos, diseñar productos y procesos químicos que no atenten contra la salud o el ambiente y reciclar los desechos generados para minimizar los impactos sobre el medio y los humanos, sin sacrificar por ello el avance científico y tecnológico.

Los planteamientos de la Química Verde (*Ibid.*) se regulan por un PROTOCOLO que consta de 12 principios, mismos que fueron publicados y suficientemente analizados en el volumen 20 de la revista *Educación Química* (2009), el cual fue dedicado en su totalidad a este tema. A través de estos 12 principios la Química Verde busca prevenir la contaminación antes de que ésta se produzca, siendo éste el punto donde confluye con el *principio de precaución* que es también pilar de la sostenibilidad. Ambas filosofías buscan *prevenir la contaminación desde su origen* en vez de gastar tiempo y esfuerzo para descontaminar el aire, agua ó suelo que antes se degradaron; sin embargo, se diferencian en que la precaución no es la única finalidad de la sostenibilidad, ni éste el objetivo de todos sus principios.

¿Química VERDE como la vida, o como los millones de dólares que ésta produce?

¿Es Química VERDE, porque queremos que sea verde el medio en el cual vivamos? ¿O verde porque de ese color son los dólares que se obtienen como ganancia derivada de la industrialización a gran escala de los productos y procesos químicos menos contaminantes?

Es VERDE por ambos motivos; verde porque la mayor riqueza a la que como seres vivientes podemos aspirar es el poder conservar la vida en el planeta —la propia y la de todos los seres que hacen posible la existencia, pues no somos la única especie sobre la Tierra, sino un simple eslabón en toda la cadena de vida, y el conservar ésta es sólo a lo que se aspira—, verde porque como humanos la mayor riqueza que poseemos es la capacidad de ejercer cotidianamente nuestra humanidad y, como parte esencial de ella, la capacidad para razonar y crear soluciones y respuestas a los problemas actuales, a la vez que prevenir los futuros. Verde porque también verdes son los dólares que permitirán a las empresas sobrevivir en un mundo en el que los ciudadanos conscientes pueden exigir productos que se apeguen al principio de precaución y, conforme se incremente la concientización ciudadana, demandar por añadidura el cumplimiento de los demás principios de sostenibilidad.

Por ello las empresas invierten ya millones de dólares en investigación para generar productos ambientalmente benignos, a través de procesos que utilicen menos energía y contaminen menos (Constable *et al.*, 2001 y 2002; Trost, 2002; Van Aken *et al.*, 2006), disminuyendo sus gastos por disposición de residuos y daños diversos al ambiente de los cuales se les

puede responsabilizar. Saben que con el crecimiento de la conciencia ambiental, el ciudadano puede discriminar los productos en función del daño que puedan causar al medio y afectar finalmente sus ventas. Toca ahora igualmente a la escuela asumir, como “institución social que inevitablemente es impregnada por los valores circunstanciales que imperan en los intercambios sociales de cada época y comunidad” (Pérez, 1995), el papel protagónico que le corresponde en la generación del cambio necesario hacia la sostenibilidad.

¿En dónde estamos y hacia dónde queremos ir? ¿Cuál podría ser la alternativa?

La sostenibilidad no es una metodología, sino una filosofía; es una meta que debe construirse de manera participativa mediante la acción cotidiana colectiva y, para ello, no hay recetas, sólo caminos por construir (Reyes-Sánchez, 2005).

Uno de los posibles caminos hacia el logro de esos procesos amigables con el ambiente es la práctica de una química que nos permita buscar rutas y realizar procesos que disminuyan el impacto negativo que hasta ahora se ha realizado sobre el medio y, es en este sentido que la Química Verde es una vía natural de la cual partir para contribuir a la viabilidad planetaria.

Sin embargo, no todo proceso químico verde es necesariamente sostenible. Por ejemplo, la producción de biodiesel por vía verde —que coherentemente con los Principios de la Química Verde incide sobre la disminución del consumo energético conforme al Principio 6, utiliza materias primas renovables en concordancia con el Principio 7 y genera un producto degradable como indica el Principio 10—; ya que si bien cambiar las fuentes de energía actuales por otras renovables tiene numerosos beneficios ambientales y económicos, el logro de los correspondientes beneficios sociales resulta muy dudoso cuando en aras del ahorro de energía y las ganancias del mercado, se destinan toneladas de granos básicos indispensables para la dieta humana a la producción de ese combustible,¹ lo cual es a la vez *éticamente inaceptable* y, por tanto, no sostenible, pues *el desarrollo sostenible considera por igual los aspectos social, económico, ambiental y axiológico* (ONU, 2000).

Requerimos entonces optar por una química cuyos productos y procesos busquen alcanzar el equilibrio *ambientalmente vivible, socialmente viable, económicamente redituable y éticamente aceptable*, a efecto de asegurar la existencia de la vida en el planeta. La química verde es un avance en ese tránsito necesario y, en las manos de científicos y docentes de esta ciencia está el reto de acercarse al ideal de una química *socialmente responsable* que contribuya al logro del desarrollo sostenible; lograrlo implica que la comunidad científica asuma en la práctica, no sólo la filosofía de la química verde, sino tam-

Tabla 2. Principios básicos de la sostenibilidad.

1. El reconocimiento de <i>los límites del crecimiento que la naturaleza nos impone</i> .	
2. El principio de precaución.	3. El principio de incertidumbre.
4. El principio de incompletud.	5. El principio de integración.
6. El principio de interdependencia.	7. El principio de interdisciplinaria-riedad.
8. El principio de articulación.	9. El principio de <i>equidad social</i> .

bién la filosofía y los principios básicos de la sostenibilidad (tabla 2), y “reoriente su maquinaria” (Lubchenko, 1998) para hacer del siglo XXI el siglo del ambiente.

¿Qué se plantea hacer al respecto?

Abordar la crisis ambiental y construir el desarrollo, implica entonces aprender formas diferentes de usar los recursos naturales (Reyes-Sánchez, 2006a y 2006b) y convivir entre seres humanos con diferencias culturales, y en ello, *“la educación puede ser parte del problema si no cambiamos, pero también puede ser parte de la solución* en la medida que seamos capaces de construir nuevos marcos conceptuales, éticos y culturales en los ciudadanos del futuro” (Novo, 2006); al aportar no sólo conocimientos, sino a la par, nuevas formas de convivencia entre humanos y de relación con la naturaleza para que las siguientes generaciones también puedan disfrutar de los actuales ecosistemas, es decir, ofrecer una *educación para la sostenibilidad: sistémica, compleja y respetuosa del equilibrio ambiental, social, ético y económico* (Reyes-Sánchez, 2009). Por ende, desde el marco metadisciplinar de la cosmovisión sistémica se plantea practicar una ciencia y una educación que nos permita *conocer y enseñar el mundo en su integridad y no en su parcialidad*, en tanto que axiológicamente no se propone transformar el mundo sino *preservarlo* para construir, desde el ámbito educativo, pensamientos, procedimientos y acciones inter y transdisciplinares, que a partir de él trasciendan a la práctica científica y se decanten a la ciudadanía.

Se coincide con Sanmartí (1998) en que la enseñanza de la ciencia como actividad científica debe tener para serlo: meta, método y un campo de aplicaciones adecuado al contexto escolar, por lo que de forma congruente con los marcos metadisciplinar y axiológico anteriores, se propone como *meta* el enseñar de forma comprometida con la construcción de una educación para el desarrollo sostenible. Como *método*, ambientalizar el currículum todo y en todo nivel como principio integrador y no tan sólo como estrategia ocasional —porque si queremos cambiar la forma actual de vivir hacia otra: equitativa, justa, respetuosa del ambiente; entonces, no podemos educar en ese sentido sólo en algunos ejemplos, temas, escuelas, días del año, cursos, etc.; tampoco unos docentes sí y otros no—, se plantea pues la ambientalización del sistema educativo a través del currículum completo para que a través de la enseñanza se aborde el conocimiento del mundo en toda su complejidad y, en concordancia, asumir un modelo pedagógico que permita construir conocimiento significativo de forma

¹ Más aún cuando existe vegetación alternativa a partir de la cual producirlo sin afectar la canasta básica pero se opta por utilizar las grandes extensiones de cultivos básicos ya establecidos.

sistémica, es decir: *compleja, integral, interdependiente e interdisciplinaria*, tal y como son el ambiente y los seres vivos que lo habitamos, haciendo así realidad la ambientalización del currículum a la vez que se recupera la actividad pedagógica lúdica que se extravió en el laberinto de la memorización y acumulación cognitiva positivista. En tanto que en correspondencia con la meta, el método y el modelo pedagógico; se propone como *metodología* de trabajo abordar la enseñanza mediante un proceso continuo que permita escalar los conocimientos de los niños y jóvenes *de lo simple a lo complejo*, organizando pedagógicamente toda acción mediante etapas de construcción del conocimiento cuyos niveles de complejidad sean cada vez mayores —en términos de relaciones— y por ende, más cercanos a una percepción de la realidad sistémica de la Tierra, a la vez que se investiga sobre la propia acción pedagógica para replantear el trabajo, mejorarlo y avanzar, mediante hipótesis de progresión hacia la construcción del modelo educativo para el desarrollo sostenible.

En cuanto al *campo de aplicación adecuado al contexto escolar*, se propone asumir en los hechos que también se requieren cambiar el modelo de pensamiento y la forma en que los saberes se construyen; lo cual NO es una responsabilidad declinable y nos exige abrir la escuela a su entorno, para ofrecer alternativas experiencialmente substanciosas que permitan enriquecer los conocimientos y adquirir los valores necesarios para el desarrollo. En Morales *et al.* (2011) se aborda la construcción de índices que desde el ámbito educativo evalúen el cumplimiento del principio de precaución y contribuyan a la sostenibilidad; sin embargo, son aún muchas más las propuestas por hacer, por lo que en posteriores comunicaciones se espera abundar en posibles alternativas desde otros campos de acción, y presentar resultados sobre actividades educativas emprendidas.

Conclusión

Desde el ideal de la sostenibilidad, resulta indispensable no sólo la búsqueda de materias primas y procesos menos contaminantes y más eficientes, sino practicar y enseñar una ciencia y construir una educación que propugne por la búsqueda de alternativas *éticamente aceptables, económicamente factibles, energéticamente deseables, ambientalmente indispensables y respetuosas del equilibrio de los ecosistemas*;² que parta del hecho de que el desarrollo sólo puede lograrse si se alcanza el equilibrio entre economía, ambiente y sociedad como vía de cimentación y edificación de una ciencia *socialmente responsable*; situación que no puede seguir siendo ignorada por los docentes y los científicos y a la que necesariamente debe darse una respuesta adecuada. Por lo que si “progreso, es la gene-

ralización del progreso” (Perroux, 1984), el caminar hacia un verdadero progreso global ó desarrollo sostenible a nivel planetario, implica entonces construir las condiciones de seguridad, libertad y educación necesarias para ello. Sin embargo, libertad y seguridad quedan finalmente supeditadas a los cambios que seamos capaces de generar en la educación, para poder estar en posibilidades de construir los cambios en libertad y seguridad que conduzcan a ese desarrollo sostenible. Lograrlo exige de las comunidades docentes y científicas tres grandes retos: el primero es la necesidad de formar ciudadanos y científicos con una perspectiva ambiental del desarrollo de la ciencia; el segundo es lograr que la práctica científica cotidiana de los investigadores busque desarrollar alternativas de origen natural, utilizando materiales originarios del país, de bajo costo, y del menor impacto ambiental posible para contribuir al mayor beneficio social. Por último, es necesario crear e impulsar respuestas resilientes en la ciudadanía a través de la educación y práctica cotidiana socialmente responsable de la ciencia, como vía de construcción y recuperación protagónica de las comunidades con base al reconocimiento de sus valores naturales y culturales. El papel de la Universidad es fundamental en esta empresa de construcción de la educación, la cultura y la ciencia generadoras de una *ciencia para el desarrollo* (UNESCO, 2009). La responsabilidad es nuestra.

Referencias

- Anastas, P. T., Warner, J. C. *Green Chemistry: theory and practice*. New York: Oxford University Press, 1998.
- Bernal, J. D. *La Ciencia en la Historia*. México: UNAM/Editorial Nueva Imagen, 1979.
- Carson, R. L., *Primavera silenciosa*. Publicado originalmente en 1962. La versión revisada es la editada en Barcelona: Editorial Crítica, 2001.
- Compromiso por una educación para la sostenibilidad. Manifiesto consensuado y aprobado como parte de las conclusiones del III Seminario Ibérico CTS en la Enseñanza de las Ciencias, celebrado en la Universidad de Aveiro, Portugal 2004, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(3), 2004.
- Constable, D. J. C., Curzons, A. D., Freitas dos Santos, L. M., Geen, G. R., Hannah, R. E., Hayler, J. D., Kitteringham, J., McGuire, M. A., Richardson, J. E., Smith, P., Webb, R. L., Yu, M. Green chemistry measures for process research and development, *Green Chem.*, 3, 7–9, 2001.
- Constable, D. J. C., Curzons, A. D., Cunningham, V. L. Metrics to ‘green’ chemistry—which are the best?, *Green Chem.*, 4, 521–527, 2002.
- Diccionario de la Real Academia de la lengua Española*. Vigésima segunda edición, consultado por última vez el 19 de mayo de 2011, en la URL <http://www.rae.es/rae.html>
- Durkheim, E. *Educación y Sociología*. México: Editorial Coyoacán, 2003.
- Echeverría, J., El pluralismo axiológico de la ciencia, *Isegoría*, 12, 44-79, 1995.
- Frankl, V. E. *La Voluntad de Sentido*. Barcelona: Herder, 1983.

² Produciendo biodiesel a partir de plantas mexicanas no comestibles, utilizando como catalizador suelos mexicanos y mediante el uso de fuentes alternas de activación: incidiendo en los Principios 6, 7 y 10 de la Q. V., a la vez que se genera una alternativa éticamente aceptable y económicamente factible (Guerrero, 2011).

- Feyerabend, P. K., *Tratado contra el método*. Madrid: Tecnos, 1981.
- Gal-Or, B. The Origin of Irreversibility, *Science*, 176, 11-17, 1972. En: Margalef, R. *Ecología*. Barcelona: Ed. Omega, 1977.
- Gil, P. D., Vilches, A., Década de la educación para el desarrollo sostenible. Algunas ideas para elaborar una estrategia global, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 91-100, 2005.
- Giere, R. N., Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico, *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 63-70, 1999.
- Gómez, M. M. y Reyes-Sánchez, L. B., La educación ambiental, imprescindible en la formación de las nuevas generaciones, *TERRA Latinoamericana*, 22, 515-522, 2004.
- Guerrero, M. J. L. *Producción de biodiesel mediante el Protocolo de la Química Verde*. Tesis de Licenciatura, FES-C UNAM, 2011.
- Huffman S. D. *Métodos y Metodica Cientifica*. México: UACH, Dirección de Programas de Posgrado de la DICEA, 2004.
- Kuhn, T. S., Conferencia dictada en la Furmant University el 30 de noviembre de 1973. En: *La tensión esencial*, México: FCE, 344-364, 1987.
- Lebret, L. J., *Manifeste pour une civilisation solidaire*. France: Éditions Économie et Humanisme, 1959.
- Lubchenko, J. Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science, *Science*, 279, 5350, 491-497, 1998.
- Margalef, R. *Ecología*. Barcelona: Ed. Omega, 1977.
- Meadows, D. *Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. EUA: New American Library, 1977.
- Morales G. M., Martínez, J. O., Osneski, M. H., Reyes-Sánchez, L. B., Miranda, R. R. ¿Qué tan VERDE es un experimento?, *Educ. quím.*, 22(3), 240-248, 2011.
- Morín, E. *Tierra Patria*. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión SAIC, 1993.
- Morín, E. *El método. 1 La Naturaleza de la naturaleza*. Publicado originalmente en 1981. La versión revisada es la editada en Madrid: Editorial Cátedra, 2009.
- Murga-Menoyo, M. La Carta de la Tierra: un referente de la Década por la Educación para el Desarrollo Sostenible, *Revista de Educación*, número extraordinario, 239-262, 2009.
- Novo, M. *El desarrollo sostenible*. Su dimensión ambiental y educativa. UNESCO: Pearson Prentice Hall, 2006.
- Novo, M., Murga, M. A., Educación ambiental y ciudadanía planetaria, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, número extraordinario, 179-186, 2010.
- ONU. *Nuestro futuro común*: Informe Brundtland. 1987. Consultado en julio de 2002, en la URL <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- ONU. *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil, 1992. Consultado en abril 2005, en la URL <http://www.un.org>
- ONU. *Declaración del milenio*. 2000. Consultado en abril de 2002, en la URL <http://www.un.org/spanish/milenio/summit.htm>
- ONU. *Resolución 57/254*. Johannesburgo, África. 2002. Consultado en marzo de 2004, en la URL <http://portal.unesco.org/education>
- Perroux, F., L'économie des États-Unis: un «leadership» difficile, *Tiers Monde*, 4(370), 539-557, 1963.
- Perroux, F. *El desarrollo y la nueva concepción de la dinámica económica*. Barcelona: Serbal-UNESCO, 1984.
- Perales, P. F. et al. 2000. *Didáctica de las ciencias experimentales*. España: Ed. Marfil. Alcoy, 2000.
- Pérez, G. A. *Volver a pensar la educación*. Madrid: Morata, 1995.
- Progogine, I. La thermodynamique de la vie, *La recherche*, 3(24), 547-562, 1974.
- Reyes-Sánchez L. B., El suelo como recurso para la enseñanza de las ciencias, *Novedades Educativas*, 172(1), 62-65, 2005.
- Reyes-Sánchez L. B. La enseñanza de la ciencia del suelo en el contexto del desarrollo sostenible, *TERRA Latinoamericana*, 24(3), 431-439, 2006a.
- Reyes-Sánchez L. B. Canicas, lombrices, arcillas y cuentos en la construcción de un nuevo paradigma en la enseñanza de la Ciencia del Suelo, *TERRA Latinoamericana*, 24(4), 565-574, 2006b.
- Reyes-Sánchez L. B. *Propuesta interdisciplinaria de enseñanza y aprendizaje de las ciencias de orden ambiental para la educación básica; utilizando el suelo como recurso*, Tesis doctoral, ITCR-UNAM, 2009.
- Revista *Educación Química*. De aniversario: química verde. *Educ. quím.*, 20(4), 394-446, 2009.
- Sanmartí, N. *De que parlem, quan parlem d'educar i d'educar ambientalment?* Publicado en memorias del seminario sobre educación ambiental. Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias de la Educación, 1-8, 1998.
- ULL, M., Martínez Agut, M., Piñero, A., Aznar Minguet. La sostenibilidad en la universidad, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, número extraordinario, 413-432, 2010.
- Shrödinger, E. *¿Qué es la vida?* Buenos Aires: Espasa Calpe, 1947.
- Trost, B. M. On Inventing Reactions for Atom Economy, *Acc. Chem. Res.*, 35, 695-705, 2002. UNESCO, *International Congress on Environmental Education and Training*, Moscú/París, 1987.
- UNESCO. *Man and Biosphere Program*. 1971. Consultado en febrero de 2010, en la URL <http://www.georgewright.org/mab.html#Anchor-What-11481>.
- UNESCO. 2009. Conferencia Mundial sobre Educación para el Desarrollo Sostenible.
- Van Aken, K., Streckowski, L., Patiny, L. EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters, *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 2, 2006.