



**FUNDACION NEXUS**

ciencias sociales – medio ambiente – salud

***QUÍMICA VERDE Y  
PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN***

**Por**

**Alicia I. Varsavsky**

**Industria y Química N° 344 págs. 2-6 (diciembre/2002)**

**Av. SANTA FE 1845 7° “D” (1123) BUENOS AIRES - TEL/FAX 5-217-2780/81  
[www.nexus.org.ar](http://www.nexus.org.ar) E-mail [fundacion@nexus.org.ar](mailto:fundacion@nexus.org.ar)**

## INDICE

[1-De la remediación a la prevención](#)

[2- El marco conceptual](#)

[3- Un poco de historia](#)

[4- Cambiando la forma de enfocar la problemática ambiental](#)

[5- La química verde](#)

[6- El camino que falta recorrer](#)

[7- Bibliografía](#)

## 1-De la remediación a la prevención

La industria química -que durante mucho tiempo fue considerada proveedora de confort y de innovaciones- ha recorrido un complejo camino que la llevó a ser vista actualmente como una de las principales responsables de ensuciar el planeta. De hecho es la industria que libera la mayor cantidad y variedad de sustancias tóxicas al medio ambiente . Es innegable que los químicos con sus desarrollos han contribuido sustancialmente a contaminar el mundo. Pero no es menos cierto que también participan activamente en la búsqueda de soluciones para los problemas ambientales.

A lo largo de la historia las estrategias destinadas a controlar la contaminación han pasado por distintas etapas. Inicialmente se consideró suficiente diluir los contaminantes presentes en efluentes y/o residuos hasta llegar a las concentraciones exigidas por la legislación. Pero el continuo crecimiento -tanto en cantidad como en variedad -de contaminantes liberados al medio ambiente, la necesidad creciente de controlar mejor esta liberación y la presión ejercida por los movimientos ambientalistas hicieron necesario tratar los efluentes y residuos. Surgieron así los tratamientos conocidos usualmente como “end of pipe” diseñados para disminuir la concentración de los contaminantes en residuos y/o efluentes sin modificar el proceso en el cual son generados. Este tipo de tratamientos tiene asociados costos adicionales que en algunos casos son muy importantes. Como no siempre los beneficios derivados de estos costos son evidentes para las empresas, no llama la atención que usualmente las acciones destinadas a controlar los problemas ambientales se limiten a las mínimas exigidas por la legislación.

Recién en la última década comenzó a tomar cuerpo la idea de que *la mejor forma de solucionar los problemas originados por los contaminantes es no generarlos*. Este enfoque traslada los controles ambientales desde su lugar tradicional (a continuación del proceso productivo) hacia el proceso productivo mismo (al cual deben ser integrados). Pero para lograr esta integración es necesario cambiar la forma de pensar la problemática ambiental y evolucionar desde una planificación remediadora -en la que los contaminantes deben ser eliminados de los efluentes y residuos después de haber sido generados- hacia una preventiva, cuyo objetivo es introducir en el proceso de producción las modificaciones necesarias para minimizar (o eliminar si es posible) tanto la generación de residuos y efluentes como la utilización de sustancias tóxicas.

El objetivo de la prevención de la contaminación es reemplazar los procesos que producen consecuencias ambientales negativas por otros menos contaminantes. Es importante tener en cuenta que la liberación de contaminantes al ambiente (incluyendo la derivada de accidentes) es un indicador de **ineficiencia** productiva y su eliminación genera ahorros y beneficios económicos. Es por ello que en las estrategias preventivas la competitividad económica y la calidad ambiental están directamente

relacionadas: al mejorar una automáticamente mejora la otra. Y esta es una su mayor ventaja sobre las estrategias remediadoras.

## 2- El marco conceptual

Todas las estrategias preventivas se encuadran en el marco conceptual del desarrollo sustentable cuyo objetivo es "*lograr un desarrollo equilibrado con crecimiento económico, equidad social y utilización racional de los recursos naturales con el fin de satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades*".

El concepto de desarrollo sustentable no es nuevo y si bien ha sido ampliamente utilizado desde hace tiempo (especialmente en los ambientes científicos) comenzó a tener repercusión a nivel mundial a partir de la publicación del informe Brundtland en 1987. Este informe fue el punto de partida de una serie de consultas internacionales que culminaron en la conferencia de Río de 1992 donde fue incorporado en la Agenda 21. A partir de esta fecha los distintos países fueron integrándolo en sus agendas ambientales.

*El desarrollo sustentable es una aproximación integral al gerenciamiento de los recursos ambientales, económicos y sociales a largo plazo.* En términos sencillos significa modificar la forma de tomar decisiones de manera tal que en ella se incluyan la identificación y evaluación de los impactos económicos, sociales y ambientales y la evaluación a partir de esta información de la sustentabilidad a largo plazo.

Para implementar este tipo de estrategias es necesario que todos los actores (gobierno, comunidad y empresas) trabajen conjuntamente. La realidad mundial actual muestra que pese a toda la publicidad que se le está dando al concepto pocas personas comprenden realmente qué significa y cómo se aplica al trabajo ambiental y a la vida de todos los días.

## 3- Un poco de historia

A principios del a década del '90 surgieron en el mundo y casi simultáneamente distintas estrategias preventivas. Las más conocidas son:

- **Producción más limpia** – desarrollado en 1989 por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en su *Programa de la Producción más Limpia*)
- **Ecoeficiencia** – desarrollado en 1990 por el Consejo Mundial para el Desarrollo Sustentable.
- **Prevención de la contaminación-** introducido en la legislación de Estados Unidos en 1990 en el "Acta de prevención de la contaminación"

Las tres se basan esencialmente en la misma idea: *integrar la reducción de la contaminación al proceso de producción e incluso al diseño de producto* recurriendo -para prevenir la contaminación - a la *revisión y modificación de*

*los procesos con la finalidad de eliminar todas las salidas que no sean productos terminados o materiales reciclables. Se diferencian principalmente en los objetivos de las organizaciones que las impulsaron.*

Las primeras estrategias preventivas que se pusieron en práctica en el mundo se centraron en minimizar la generación de contaminantes introduciendo mejoras en la gestión (control de emisiones fugitivas, mejoras en procedimientos, etc.). Estos cambios son los más rápidos y fáciles de implementar y son los que tienen mejor relación costo/beneficio pero en la medida en que se van imponiendo se hacen necesarios desarrollos que tengan en cuenta la introducción de cambios tecnológicos. En esta etapa los químicos juegan un rol fundamental ya que es necesario diseñar nuevos productos en los que se tengan en cuenta no solamente los rendimientos económicos sino también los ambientales.

Como consecuencia de la promulgación en 1990 en los Estados Unidos del Acta de prevención de la contaminación -que fue la primer ley ambiental de ese país que se centró en la reducción de la contaminación en la fuente en lugar de en la remediación o captura de contaminantes- la American Chemical Society desarrolló el concepto de **química verde** o **química sustentable** para referirse *diseño, desarrollo e implementación de productos y procesos que reducen o eliminan el uso y generación de sustancias peligrosas para la salud humana o el medio ambiente.*

Por su parte las industrias químicas y petroquímicas crearon el “**Programa de cuidado responsable del medio ambiente**”. Se trata de un programa internacional desarrollado específicamente para estas industrias cuyo objetivo de lograr una mejora continua del desempeño de la industria química en seguridad, salud y ambiente. Tiene como característica especial tratarse de un esfuerzo voluntario puesto en marcha en más de cuarenta países (incluida la Argentina donde es administrado por la Cámara De La Industria Química y Petroquímica desde mayo de 1992). Se diferencia de otros programas principalmente por ocuparse explícitamente tanto del medio ambiente como de la seguridad y la salud.

#### **4- Cambiando la forma de enfocar la problemática ambiental**

Como ya se mencionó, **generar residuos y/o efluentes cuesta dinero y contamina**. La mejor forma de minimizar estos costos es utilizar los insumos de una forma más eficiente. Se logra así disminuir (y en algunos casos eliminar) los costos asociados al tratamiento de residuos y efluentes. El uso más eficaz de los insumos aumenta la rentabilidad de la empresa y al mismo tiempo beneficia al medio ambiente ya que al disminuir la cantidad de residuos y/o efluentes generados se contamina menos. De esta forma los intereses de dos grupos tradicionalmente contrapuestos (los ambientalistas y los industriales) van de la mano.

Pero una cosa es conocer estas ventajas y otra muy distinta es poner estas estrategias en marcha. Existen importantes **barreras** internas y externas a la empresa que dificultan el proceso. Estas barreras dependen no sólo de aspectos tecnológicos y económicos (desarrollos de productos y tecnologías

nuevas que pueden ser costosos) sino también -y principalmente- de las dificultades para lograr que todos tomen conciencia de esta nueva realidad. Por encima de otras consideraciones, los enfoques preventivos requieren cambios en la cultura empresarial y personal, en la de los grupos ambientalistas y en la de los gobiernos de tal magnitud que solamente las empresas y dirigencias con un sentido de liderazgo fuerte y visionario toman la iniciativa en este tema.

Se suele aceptar que las empresas siempre adoptan el camino de menor costo pero la realidad es que las decisiones son tomadas por individuos y los individuos tienen preferencias personales y profesionales que, más que por la lógica, están motivadas por aspectos culturales (tanto de la empresa como de la persona). Problemas tales como la falta de información y de experiencia, el poco conocimiento de los temas ambientales, la existencia de criterios preestablecidos en el proceso de toma de decisión, problemas financieros, la falta de comunicación entre distintas empresas, la inercia en los niveles gerenciales medios, deficiencias en las regulaciones existentes, dificultades en acceder a las tecnologías limpias y/o al financiamiento externo e incentivos económicos mal orientados figuran entre las barreras más importantes.

Como contrapartida existen motivaciones que llevan a una empresa a **adoptar** estrategias preventivas. Entre ellas pueden mencionarse la implementación en la empresa de sistemas de gestión ambiental y mejora continua, las iniciativas voluntarias, las mejoras en la productividad, los incentivos económicos, la capacitación, etc.

## 5- La química verde

La llamada **química verde o química sustentable**- es decir *el uso de la química para prevenir la contaminación a través del diseño de productos y procesos químicos que sean ambientalmente benignos*- ha crecido sustancialmente desde su aparición a principios de los años 90. Este crecimiento está basado en un fuerte desarrollo científico guiado por la necesidad económica de lograr un desarrollo sustentable.

Se trata de una herramienta imprescindible cuando se hace necesario introducir mejoras tecnológicas ya que se ocupa de estudiar y modificar todos los aspectos de los procesos químicos que generen impactos negativos tanto sobre la salud humana como sobre el ambiente. Se parte de la base de que el camino más eficiente para prevenir la contaminación consiste en

- ✓ diseñar productos nuevos que sean útiles y viables comercialmente pero cuya toxicidad sea mínima
- ✓ diseñar -para productos ya existentes- pasos sintéticos alternativos que no requieran sustratos o solventes tóxicos ni generen subproductos tóxicos.

La necesidad de reducir o eliminar el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicación de los productos químicos de manera tal de prevenir la contaminación pone al químico ante un cambio muy

importante tanto en la forma de encarar la resolución de los problemas como en su formación profesional.

Tradicionalmente el químico ambientalista se especializó en monitorear el entorno para detectar contaminantes y buscar la forma de eliminarlos o minimizar sus efectos. En la medida en que las estrategias preventivas vayan imponiéndose deberá ocuparse de idear y poner en marcha mecanismos que permitan que su actividad resulte inocua para el medio ambiente. Es necesario modificar los procesos sintéticos pero también se deben desarrollar nuevas metodologías de detección, identificación, monitoreo y separación de contaminantes naturales e industriales, entender mejor los procesos catalíticos que ocurren en los aerosoles, conocer mejor los mecanismos de los cambios fotoquímicos y los de toxicidad (tanto para el hombre como para los ecosistemas), etc.

A lo largo de la historia los químicos se han ocupado de diseñar y rediseñar sus productos para lograr una mayor eficiencia en los procesos. A partir de la consideración de las propiedades físicas y químicas de las distintas moléculas en estudio se buscaba obtener productos con propiedades específicas. De esta forma han sido los principales arquitectos de los productos actualmente en uso y son sus diseños estructurales los que tienen efectos tanto sobre el ser humano como sobre el ambiente.

Tradicionalmente los criterios para priorizar una vía de síntesis sobre otra se basaron en la disponibilidad y precio de materias primas, en los rendimientos del proceso y en el consumo de energía. A partir de la puesta en marcha de estrategias preventivas a estos criterios hay que agregarle los relacionados con la toxicidad (tanto para el ser humano como para los ecosistemas) a lo largo no solamente del proceso de síntesis sino del ciclo de vida del producto que debe

- ✓ Ser comercialmente útil
- ✓ Presentar una mínima toxicidad tanto para el ser humano como para el ambiente
- ✓ Ser fabricado en procesos viables
- ✓ No contribuir a la contaminación.

## **6- El camino que falta recorrer**

Armonizar las consideraciones de seguridad para organismos vivos complejos con las de eficacia industrial y comercial es una meta difícil pero indispensable. Para lograrlo es necesario poder identificar los impactos que tendrán una molécula o un proceso productivo sobre los sistemas biológicos y esto significa entender las rutas de exposición, los mecanismos de acceso y los mecanismos de toxicidad "in vivo" en los distintos organismos. Para ello es necesario contar con información sobre las relaciones entre las estructuras químicas y sus funciones industriales/comerciales pero también con sus posibles actividades biológicas. Una cuidadosa integración de estas dos fuentes de información permitirá llegar al delicado balance necesario entre seguridad y eficacia. Esto

fuerza a importantes cambios (tanto en los enfoques de los estudios toxicológicos como en el entrenamiento de los químicos) y conlleva la necesidad de intensificar los trabajos interdisciplinarios.

Pese a las ventajas comparativas de las estrategias preventivas, es importante tener en cuenta que no siempre las ventajas de un producto "verde" nuevo y/o el reemplazo de un producto tradicional por otro verde son tan claras. Los impactos ambientales pueden ocurrir en escalas de espacio y tiempo muy amplias y las instalaciones industriales no aparecen y desaparecen repentinamente. Tampoco ocurre lo mismo con las distintas moléculas sintetizadas, cuyas vidas medias en el ambiente son muy variables. Por esta razón es necesario estudiar las interacciones ambientales en un rango de escalas espacial y temporal amplias teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del producto.

Mientras algunos de los problemas ambientales tienen en la actualidad soluciones tecnológicas viables otros todavía no las tienen. Esto hace que la investigación relacionada con la problemática ambiental (que forzosamente es interdisciplinaria) sea cada vez más importante. La posibilidad de encarar integralmente los problemas derivados del agotamiento de los recursos no renovables con los de los costos asociados tanto con la generación y tratamiento de residuos como con el cumplimiento de la legislación vigente definirán la viabilidad de una empresa.

Pero las mayores dificultades no radican tanto en la disponibilidad de tecnologías limpias o verdes sino en superar los obstáculos que dificultan su implementación efectiva (la inercia, el simple acto de ponerse en marcha y el costo de implementar nuevas tecnologías entre otras). También los sistemas de regulación ambiental tienen limitaciones que deben ser consideradas. Es interesante notar que las políticas que sugieren límites aceptables de emisiones, al ignorar el efecto acumulativo de las sustancias en el ambiente, perpetúan los problemas tradicionales de la contaminación en lugar de eliminarlos.

Se mencionó anteriormente que -entre las barreras que se deben superar para imponer estas metodologías- las culturales son las más importantes. Por esta razón en la implementación de una estrategia limpia o verde la educación debe ser un componente fundamental. Y esto significa modificar planes de estudio pero también modificar la forma en la que se consideran las interacciones entre las actividades del hombre y el medio ambiente. Gran parte de los esfuerzos de la química verde están orientados a lograr que los químicos trabajen conjuntamente con biólogos, ingenieros y científicos de una gran variedad de disciplinas. Los temas ambientales son tan complejos que si no se combinan todas estas fuerzas y se planifica a largo plazo será difícil resolverlos.

La colaboración entre el mundo de la industriales y el mundo académico es fundamental para lograr la introducción de productos verdes en el mercado. Para que esta colaboración sea exitosa es necesaria una gran flexibilidad ya que deben trabajar juntas personas que provienen de estructuras cuyos



objetivos tradicionalmente fueron diferentes. Corresponde a los gobiernos generar los mecanismos que permitan facilitar esta la interacción a través de la promulgación de legislaciones adecuadas.

Ni las estrategias preventivas ni el diseño de productos químicos ambientalmente benignos son una panacea universal y no solucionarán todos los problemas ambientales del mundo. Tampoco son aplicables en todos los casos. Pero en la medida en que se vayan convirtiendo en una forma de pensar la relación del hombre con su entorno contribuirán significativamente a mejorar la calidad de vida del hombre mismo.

## **7- Bibliografía**

Anastas, P.T. y Farris, C.A. editores "Benign by design. Alternative synthetic design for pollution prevention". (ACS symposium series 577)

Culler, Nelson "Apuntes para un cuidado responsable del medio ambiente". . Cámara de Industrias Químicas y Petroquímicas (2000)

De Vito, S.C. y Garret, R.L. editores "Designing safer chemicals. Green Chemistry for pollution prevention". (ACS symposium series 640) 1996

Gunningham, N. y Sinclair, D. "A Final Report: Barriers And Motivators To The Adoption Of Cleaner Production Practices". Environment Australia. Australian Centre for Environmental Law. The Australian National University. Canberra, July 1997