

Residuos industriales y calidad de los cuerpos de agua

María Luisa Castro de Esparza

Licenciada en química por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Profesora de Química Ambiental en la Universidad Nacional de Ingeniería. Oficial técnica del CEPIS, OPS/OMS y responsable del Programa de Mejoramiento de la Calidad Analítica de los Laboratorios de la Región (PRELAB).

El Perú debe desarrollar su industria bajo las condiciones que impone el desarrollo sostenible, lo que significa la satisfacción de las necesidades de la presente generación sin afectar las capacidades y requerimientos de las futuras. Esto nos obliga a formular la pregunta: ¿Es compatible el desarrollo industrial y la protección del medio ambiente?

Se han realizado muchos estudios que han demostrado, especialmente en el caso de Lima, que las aguas que se usan para regar los campos de cultivo son aguas residuales de origen industrial y doméstico, lo que representa un grave riesgo para la población.

Esta situación debe llevarnos a tomar conciencia de los riesgos originados por la indiscriminada generación de contaminantes en las industrias, lo que exige el establecimiento de programas de tratamiento de desechos industriales por parte de las personas involucradas en los procesos de fabricación.

1. Desarrollo industrial, ambiente y calidad

El Perú necesita mejorar su economía y para ello debe desarrollar una estrategia que le permita no sólo ser un país exportador de materias primas naturales e importador de productos terminados, sino también un país que desarrolla su industria y entrega al comercio productos intermedios y acabados, lo que genera empleo y desarrollo social, y mantiene el equilibrio entre el consumo interno, las importaciones, exportaciones e inversiones para el desarrollo. Ante esta situación surge una pregunta: ¿Es compatible el desarrollo industrial con la protección del ambiente?

La Agenda 21, suscrita por la gran mayoría de países del mundo en la Conferencia de Río de Janeiro (1992), trata sobre el desarrollo industrial y la preservación del ambiente, en el marco del desarrollo sostenible. De igual modo, el informe de Brundtland sobre el futuro común de la humanidad señala que: "El desarrollo sostenible es el que satisface las necesidades del presente sin dañar la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

El nexo entre el libre comercio y la protección ambiental es complicado, ya que requiere velar por la interrelación de las leyes nacionales y los convenios internacionales, la soberanía de los países, la economía de los mercados y el desarrollo sustentable. En los foros internacionales de comercio aún se discute si la economía global estará basada en la ética del desarrollo sostenible o un mercado que deja hacer y deja pasar, pero la opinión que tiende a generalizarse es que la reglamentación no necesariamente debe ser uniforme, y que la administración de los recursos debe hacerse con políticas ambientales acordes con la realidad de los países.

En el nivel internacional se observa que paralelamente a la apertura de los mercados, existe una tendencia al desarrollo y aplicación de reglamentos ambientales.

Sin duda, los estándares de calidad de mayor impacto en el mundo son las normas ISO 9000. Esta norma refleja la estandarización global y la voluntad de los países para integrarse al movimiento económico internacional. Todo indica que la uniformidad de criterios y procedimientos se extenderá al aspecto ambiental (normas ISO 14000) y que su cumplimiento será incluido en las normas de calidad total.

Indirectamente, el proceso para recibir una certificación ISO 9000 requerirá de controlar las condiciones de operación, eficiencia de los procesos y documentación que sustente el programa de calidad aplicado, en el que no sólo se considera el producto terminado sino también la calidad y cantidad de los residuos generados durante su producción.

Todo ello hace pensar que en el futuro los términos de calidad y ambiente estarán estrechamente enlazados, y el control ambiental será considerado como parte del control de la calidad total industrial.

Por ello, nuestro país debería desarrollar su industria bajo la perspectiva del desarrollo sostenible como parte de una cultura de calidad, con el fin de proteger el ambiente y asegurar la calidad de vida y los recursos naturales de las próximas generaciones.

Sobre el cumplimiento de los compromisos adquiridos en la Agenda 21 por el Perú, tanto la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) del Ministerio de Salud, como el Consejo Nacional del Medio Ambiente (Conam) y otras instituciones del Estado, así como entidades no gubernamentales, vienen implementando actividades relacionadas con el control de residuos, vertimientos y emisiones de gases. Es importante la coordinación interinstitucional para unir recursos y evitar la duplicación de esfuerzos.

2. *Efecto de los vertimientos industriales en los cuerpos de agua*

En anteriores oportunidades se ha presentado el análisis global del medio ambiente relacionado con el desarrollo industrial y el análisis técnico-científico para la gestión del impacto ambiental en el Perú; asimismo se ha dado a conocer la política nacional con relación a este tema.

Esta presentación está referida al efecto de las aguas residuales industriales en los cuerpos de agua receptores, desde la perspectiva de salud pública que considera los usos prioritarios del agua.

El vertimiento de las aguas residuales a los cuerpos de agua representa un riesgo para la salud ambiental y humana. Este riesgo depende de diversos factores, entre ellos las características propias de los contaminantes y su efecto en organismos vivos. Este segundo factor depende de la capacidad y resistencia del organismo vivo y del nivel de concentración de los conta-

minantes. De estos aspectos, sólo se puede controlar y disminuir el nivel de exposición (por inhalación, ingestión o contacto) de los organismos y seres vivos.

Los seres más expuestos y sensibles por sus características físicas y bioquímicas son las bacterias, las que se encargan de la biodegradación de la materia orgánica y, por lo tanto, ayudan a la estabilización de los residuos orgánicos. Otros organismos sensibles a la contaminación son los que conforman el plancton, como los microcrustáceos, las algas y plantas acuáticas.

Por otro lado, para los salubristas es de vital importancia la preservación de las fuentes de agua que sirven de materia prima para el agua de beber. En el Perú y América Latina la tecnología que se usa para el tratamiento del agua de consumo humano consiste en la remoción de partículas y bacterias, pero no se remueve material disuelto, por ello, si las aguas naturales tienen compuestos disueltos, lo más probable es que éstos sean ingeridos por los consumidores. También existe la posibilidad de que los residuos sean precursores de otros tóxicos.

Por otro lado, los productos hidrobiológicos (mariscos, peces, etc.) y algunos agropecuarios (verduras, pasto, ganado, etc.) pueden acumular o magnificar los tóxicos. Los contaminantes pueden influir en la calidad sanitaria de los productos agrícolas y pecuarios para consumo humano, con efectos nocivos y crónicos en los consumidores. Se conoce varios casos de contaminación masiva a través del agua con alto contenido de plomo, cadmio y mercurio, entre otros. Cabe anotar que los efectos tóxicos de metales pesados y residuos orgánicos en algunos casos son irreversibles.

Es necesario estudiar la carga contaminante (química, microbiológica y toxicológica) que puede afectar al ambiente y la efectividad de la industria para mantener controlados sus vertimientos, teniendo en cuenta la capacidad de dilución y asimilación del cuerpo receptor con el fin de no afectar las condiciones originales del medio.

Como es conocido, el Perú pertenece a una de las regiones con mayor reserva biológica del mundo, lo que permite entregar al mercado productos naturales y gran variedad de alimentos y medicamentos. Para conservar esta riqueza es necesario proteger el ecosistema que la sustenta.

3. *Características de las aguas residuales y el efecto de su disposición final: Caso de Lima*

Cabe notar que en el país, debido a la escasez de agua en la costa peruana y especialmente en Lima, los campesinos aprovechan el 20% de las aguas residuales para regar, sin discriminar si son domésticas o industriales y sin ningún acondicionamiento.

Lima presenta la mayor concentración industrial del país y, por ello, la calidad de las aguas residuales de sus principales colectores domésticos e industriales debe ser vigilada.

El colector industrial más representativo de Lima es el de la avenida Argentina que corre paralelo al río Rímac, el cual recibe descargas de diversas industrias.

Estas aguas residuales tienen dos destinos: el mar del Callao y el riego de vegetales de los fundos de Santa Rosa y San Agustín, en el Callao, entre otros.

Sobre su efecto en el mar hay algunos estudios que dan cuenta de los cambios que está sufriendo por estas descargas y por la acumulación de ciertos contaminantes biológicos y químicos en algunos productos hidrobiológicos. El Proyecto de Aguas Residuales de Lima Metropolitana (Promar), tiene estudios del impacto causado por los vertimientos al mar.

En este artículo se pone énfasis en el segundo aspecto: el efecto de las aguas residuales que se usan con y sin tratamiento en el riego de productos agrícolas de consumo humano directo.

Al respecto, el estudio *Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura: Aspectos toxicológicos*, se realizó en Lima Metropolitana entre 1987 y 1990, y tuvo por objetivo evaluar la presencia y concentración de compuestos tóxicos en aguas usadas para el riego y en productos agropecuarios procedentes de las zonas de reuso. Adicionalmente, se analizaron suelos y lodos relacionados con estas aguas. Las zonas de estudio fueron: el río Lurín en Cieneguilla (zona testigo); San Juan de Miraflores (zona de reuso de efluentes tratados con proceso bioquímico); Callao (uso de aguas residuales de origen industrial, doméstico y de río), y San Martín de Porres (uso de aguas residuales predominantemente domésticas).

En este estudio se evaluaron parámetros de calidad físico-química, microbiológica y toxicológica. Sólo se presenta los resultados toxicológicos por estar más relacionados con la contaminación ambiental. Se consideraron los siguientes análisis:

- a) Agua: metales, plaguicidas, bifenilos policlorados, demanda bioquímica y química de oxígeno disuelto, pH, amoníaco, temperatura y sólidos en suspensión.
- b) Productos agrícolas: cadmio, plomo y bifenilos policlorados.
- c) Suelos y lodos: cadmio, arsénico, plomo, mercurio, plaguicidas y PCB.

Los resultados demostraron que las aguas residuales de origen industrial tienen niveles altos de metales pesados: arsénico (7 a 200 $\mu\text{g/l}$); cadmio (5 a 43 $\mu\text{g/l}$); plomo (10 a 253 $\mu\text{g/l}$); y cobre (50 a 250 $\mu\text{g/l}$). Los plaguicidas clorados en los diferentes puntos de muestreo fueron muy bajos (700 ng/l). Respecto de los PCB, el valor más alto se detectó en San Martín de Porres (270 $\mu\text{g/l}$). En general, se observó que en las lagunas de estabilización se produce remoción de metales pesados, plaguicidas y PCB.

En cuanto a los productos agropecuarios, el valor más alto de plomo se detectó en muestras de espinacas procedentes de mercados (0.037 $\mu\text{g/g}$). En muestras de leche, los valores más altos de PCB se registraron en leche total (60 $\mu\text{g/l}$) y en grasa (1.000 $\mu\text{g/l}$) de la zona del Callao.

Los resultados demostraron que el riego con aguas residuales representa un riesgo para la salud de la población por la posibilidad de ingerir productos agropecuarios que contienen sustancias tóxicas. Supuestamente, este riesgo no debería presentarse pues las aguas de origen doméstico no tienen altos niveles de sustancias tóxicas, pero en numerosas ciudades de América Latina y el Caribe existen descargas industriales clandestinas que hacen que el uso de aguas residuales domésticas represente un riesgo, aunque en menor dimensión que el reuso de aguas residuales de origen industrial.

En aguas residuales de origen doméstico (San Juan) los valores estaban por debajo del límite permisible para aguas de riego, pero indicaron la presencia de alguna fuente de contaminación industrial.

En descargas de origen predominantemente industrial (Callao), se detectó arsénico, plomo y cadmio en concentraciones que, en algunos casos, sobrepasan los límites permisibles para aguas de riego.

Otros compuestos importantes desde el punto de vista toxicológico fueron los bifenilos policlorados (PCB). En los efluentes

de las lagunas de estabilización de San Juan los valores de PCB estuvieron por debajo del límite de detección ($<5 \mu\text{g/l}$).

En las tres zonas de reuso, la concentración de plaguicidas organoclorados en desagües fue sumamente baja ($<700 \text{ ng/l}$), lo que no representa riesgo para la salud. Para investigaciones futuras, se recomienda evaluar plaguicidas de mayor uso doméstico con el fin de ampliar la información sobre el riesgo que representan éstos en el reuso de aguas.

Los resultados de los análisis de suelos y lodos indican la posibilidad de acumulación de metales tóxicos (arsénico, plomo, zinc) y PCB, lo cual constituye un factor de riesgo, sobre todo si los lodos se usan como abono.

En productos agrícolas procedentes de las zonas de estudio, se observó que la concentración de cadmio y plomo no se relaciona directamente con los niveles de estos metales en las aguas de riego. El cadmio no fue detectado en los productos agrícolas (límite de detección $0.003 \mu\text{g/g}$); en el Callao se observaron valores ligeramente altos de plomo en una muestra de papas ($0.002 \mu\text{g/g}$) y en muestras de espinacas ($0.014 \mu\text{g/g}$). En esta zona, los productos agrícolas también estaban expuestos a otras fuentes de contaminación móviles.

Otro producto analizado fue la leche de ganado vacuno alimentado con forraje de las zonas de reuso. En estas muestras se encontraron valores altos de PCB en zonas de reuso de aguas crudas, en el Callao ($60 \mu\text{g/l}$ en la leche total y $1.000 \mu\text{g/l}$ en grasa) y en San Juan ($23 \mu\text{g/l}$ en la leche total y $530 \mu\text{g/l}$ en grasa). En el caso de San Juan, los análisis de PCB en aguas crudas dieron valores por debajo del límite de detección analítica ($<5 \text{ ng/l}$); sin embargo, se observó su bioacumulación en la leche vacuna. En el Callao sí se observaron valores relativamente altos de PCB en aguas ($190 \mu\text{g/l}$).

En el sistema de lagunas de San Juan, se observó que los PCB presentaron valores similares en el crudo y en los efluentes de las lagunas. Indirectamente, se pudo observar su remoción al encontrar una disminución en la concentración de los lodos.

Este estudio ha permitido determinar la presencia de compuestos químicos tóxicos en aguas residuales usadas para riego y su influencia en los productos agropecuarios obtenidos con el reuso. También ha proporcionado información sobre la remoción de algunos compuestos químicos en lagunas de estabilización en países de clima tropical.

4. Minimización de contaminantes y control de calidad

En general, en una economía de libre mercado, el costo de los productos depende de la productividad de la industria y de la calidad del producto. Para obtener productos competitivos a nivel internacional se promueve la aplicación de programas de calidad total en la industria. La calidad total es un concepto que reúne la noción de productividad, mejor calidad del producto y la calidad ambiental.

La productividad tiene relación con el empleo de la tecnología apropiada y el personal capacitado. La calidad del producto está referida a la calidad de la materia prima e insumos, al control y dosificación de los procesos y al control del producto final. La calidad ambiental se relaciona con el control de residuos, vertimientos y emisiones al ambiente.

La calidad total implica la adopción de la estrategia de minimización de residuos. Esta estrategia considera la reducción de sustancias peligrosas y tóxicas durante todo el proceso industrial; el ahorro de agua e insumos; el reuso de subproductos; la reducción del uso de energía, y el tratamiento de los residuos antes de disponerlos en el alcantarillado o en rellenos sanitarios. Con esto se logra que el tratamiento final, si es necesario, sea considerablemente menor en costo y complejidad y se disminuye el caudal de aguas residuales vertidas, cumpliéndose con los criterios y normas de calidad ambiental.

Mediante la minimización se tratan de encontrar soluciones que, además de preservar al ambiente, generen dividendos por encima de los costos de inversión. El reuso y reciclaje de residuos debe ser valorado y considerado como un aporte económico.

A diferencia del tratamiento convencional de residuos al término del proceso antes de su disposición final, la minimización tiene por objetivo disminuir los residuos durante la producción. Para lograrlo, se puede adoptar nueva tecnología, reemplazar insumos, mejorar métodos, establecer nuevos parámetros de planeamiento de la producción, innovar instalaciones, etc. El cambio progresivo del tratamiento y el control en la generación de residuos permitirá reducirlos. En forma simultánea se debe disminuir el desperdicio de insumos, mejorar las condiciones de operación, optimizar la eficiencia del proceso y, si es posible, incluir mecanismos de reuso.

Finalmente, si las aguas residuales tienen contaminantes en niveles que afectan fuentes y cuerpos receptores para usos

posteriores, será necesario acondicionarla mediante tratamientos fisicoquímicos o biológicos, cuyos criterios de selección deben considerar: eficiencia esperada, ventajas, desventajas, restricciones, costos y personal calificado para el diseño, operación, mantenimiento y control de las plantas.

Al final, las partículas sólidas del agua residual podrían separarse mediante procesos de clarificación y espesamiento; las partículas disueltas podrán ser removidas por precipitación u otros medios fisicoquímicos.

Como ya se mencionó, es importante el tratamiento y recirculación del agua en los procesos productivos, previa remoción de las partículas y materiales indeseados. La idea es usar la menor cantidad de agua posible para evitar un efluente considerable que transporte contaminantes.

En algunos casos, el agua tratada es o puede ser recirculada al proceso, aplicada a otros usos (por ejemplo en limpieza o enfriamiento) o vertida a los cuerpos receptores cuando las concentraciones de contaminantes no implican riesgo de daños al ambiente, lo que permitirá reducir los costos del tratamiento de los desechos.

En general, el control de calidad y la optimización de tiempos y movimientos permite disminuir el costo final del producto. Otra ventaja para los trabajadores es que la exposición laboral a las sustancias que representan un riesgo para la salud será menor y, por lo tanto, se reducirán las demandas de prestaciones de servicios médicos por enfermedades ocupacionales, lo que incrementará la productividad.

El cumplimiento de normas de vertimientos libera al industrial del pago de multas y de tener que hacer arreglos, a veces ilícitos, con quienes supuestamente vigilan el cumplimiento de los reglamentos sanitarios y ambientales. Es importante comentar que al establecer normas se considere que no se trata de pagar por contaminar, sino de proteger el medio en que vivimos, ya que una vez deteriorado, su recuperación es difícil, costosa y probablemente requiera tecnologías no disponibles en el país.

Cabe anotar que uno de los problemas que puede generarse es el enfrentar la oferta y venta agresiva de tecnología de recuperación y tratamiento de residuos. Si no se cuenta con personal debidamente calificado y consultores con experiencia, se corre el riesgo de comprar tecnologías que no solucionarían el problema o producen efectos colaterales igualmente adversos al

ambiente, creándose un círculo vicioso e inversiones inútiles. Por ello, es importante que el sector industrial fomente estudios de investigación y evaluación de alternativas de tratamiento, de acuerdo con las circunstancias particulares o de grupos de industrias de problemática ambiental similar.

En general, el manejo ambiental se debe considerar una matriz de parámetros ambientales comparados con las medidas de control, incluida la breve descripción de los efectos de cada medida, y un análisis de los efectos y las acciones que requieren tomarse en cada caso, y, por último, evaluar y comparar cada una de las opciones.

Los protocolos de los diferentes sectores deben involucrar la medición de parámetros fisicoquímicos, indicadores de carga orgánica, nutrientes, metales pesados, residuos orgánicos tóxicos y otros en los efluentes. El control ambiental involucrará la frecuencia, lugares, muestreo y otros indicadores necesarios, así como las multas, el cierre de las instalaciones e incentivos por cumplimiento con la calidad ambiental.

En el Perú el control y la vigilancia de contaminantes, principalmente de los residuos líquidos y gaseosos, corresponde a las direcciones ambientales de los diferentes ministerios involucrados. Los ministerios vienen desarrollando diagnósticos de la situación ambiental relacionada con su sector, lo que permite estimar la carga de contaminantes que vierte al ambiente cada una de ellas. Estos diagnósticos servirán de base para emprender acciones de preservación, mitigación o recuperación a corto, mediano y largo plazos en los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

5. Conclusiones y recomendaciones

- a. Las aguas residuales industriales dispuestas en un cuerpo receptor o usadas sin ningún tratamiento constituyen un riesgo potencial o real para la salud humana y ambiental. Estas aguas, antes de ser dispuestas, deben ser acondicionadas para que, de acuerdo con la disposición final que se le va a dar, no causen daños a los ecosistemas.
- b. Se debe investigar la correlación entre la concentración de tóxicos en agua y lodos, aparte del efecto que pueda tener su uso posterior.

- c. Para el establecimiento de normas ambientales es recomendable la ejecución de estudios epidemiológicos y toxicológicos, con el fin de determinar el impacto de los contaminantes en las personas expuestas y evaluar las alternativas de remoción para cada elemento o conjunto de compuestos dañinos, y así tener lineamientos definidos que puedan aplicarse en situaciones similares.
- d. El país requiere de una reglamentación ambiental que se oriente hacia el desarrollo. Los diferentes sectores, en coordinación con el Conam, están trabajando en el establecimiento de límites máximos permisibles, cuya aplicación será gradual para que en un plazo razonable se adecúen al cumplimiento de estos límites mediante los PAMA preparados por las diferentes industrias. Paralelamente se debe desarrollar una capacidad de monitoreo ambiental que sirva de herramienta de control y vigilancia a las instituciones encargadas de hacer cumplir la reglamentación.
- e. Es necesario propiciar el compromiso del sector industrial para implementar el concepto de minimización de sustancias tóxicas y así aprovechar los recursos naturales, la biodiversidad y evitar el deterioro de las fuentes de agua y el ambiente.
- f. El reto de la industria peruana consiste en demostrar que es una actividad limpia y respetuosa del ambiente, pues cumple con los convenios internacionales de cooperación entre gobiernos y regiones, observando los reglamentos que aseguran que el comercio se conducirá en igualdad de condiciones. Es decir, que los bienes podrán ingresar a la cadena del comercio internacional como productos acreditados (sellos verdes, etiqueta ecológica, etc.), elaborados de acuerdo con las exigencias internacionales.
- g. El desarrollo industrial sostenible debe ser un ejercicio democrático de concertación de la industria, el Estado y la comunidad como sociedad organizada, donde el Estado debe establecer las políticas y condiciones que regirán el desarrollo industrial; la industria tomará las acciones necesarias en la estrategia de calidad total; y la comunidad deberá opinar sobre el tipo de desarrollo y calidad de vida que desea.

Es importante que los medios de comunicación que influyen en la opinión pública estén capacitados, informados y que también participen de la gestión ambiental.

Bibliografía

- Esparza, María Luisa Castro de
Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura: aspectos toxicológicos, Vol II. Informe final. Lima: CEPIS/OPS/OMS/CIID, 1993.
- *Análisis químico de muestras ambientales en la industria minero metalúrgica*. Lima: Universidad de Lima, 1996.
- *Desarrollo industrial y la preservación del ambiente*. III Jornada Técnica sobre Procesos y Controles en la Industria de Aceites y Grasas. Lima: Sociedad Nacional de Industrias, 1996.
- Cantanhede, Alvaro, María Luisa Esparza de Castro, Rosalina Condemarin y Gladys Monge.
Aplicación de arcillas activadas usadas como material impermeabilizante en rellenos de seguridad. Sardinia, Italia: Simposio Internacional de Rellenos Sanitarios, 1995.