

# ALGUNAS HERRAMIENTAS PARA LA PREVENCIÓN, CONTROL Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Galván Rico, Luís E., Reyes Gil, Rosa E.

---

**Resumen:** Desde los principios de la revolución industrial se han desarrollado técnicas de producción intensivas con el empleo de sustancias peligrosas, sin considerarse el impacto de estas actividades sobre la salud del ser humano y de los ecosistemas. La humanidad se ve ahora forzada a investigar las consecuencias ambientales de sus acciones de producción a escala local, nacional y global y a buscar las posibles soluciones a los problemas creados con el planteamiento de estrategias que le permitan prevenir, controlar y/o mitigar los daños generados sobre el ambiente. En un principio los industriales optaron por la instalación de equipos al final de los procesos, para evitar modificaciones en los mismos; sin embargo estos equipos son costosos y elevan el precio de venta de los productos. Actualmente, las industrias se están viendo forzadas a adoptar las medidas de prevención de contaminación desde el inicio del proceso de fabricación, con el objetivo de minimizar el flujo de desechos. Este trabajo describe las principales herramientas utilizadas para prevenir, controlar y/o mitigar la contaminación ambiental. Estas soluciones incluyen la ejecución de programas de monitoreo preventivos con la utilización de señales de alarma temprana, el diseño y aplicación de tecnologías limpias, la formación de una conciencia pro-ambiental en los ciudadanos, la valoración económica de los recursos ambientales así como la asignación de precio a la contaminación, y la Gerencia Ambiental como estrategia empresarial para el aprovechamiento de los recursos naturales y la minimización en la generación de desechos.

---

**Palabras clave:** Contaminación/ Prevención/ Señales de alarma/ Educación Ambiental/ Tecnologías limpias/ Economía y Gerencia Ambiental.

## SOME TOOLS FOR THE PREVENTION, CONTROL AND MITIGATION OF THE ENVIRONMENTAL CONTAMINATION

---

**Abstracts:** Since the beginning of the Industrial Revolution earlier on, intensive production techniques were developed that used potentially dangerous compounds and little attention was paid to the impact of such activities on the health of humans or ecosystems. Mankind is now forced to study the consequences of those processes and acts of production, at local, national and global scales in order to find possible solutions to the widespread problems that have emerged and establish strategies aimed at the prevention, control or mitigation of the damages caused to the environment. In an early stage, the industries opted to install equipments at the end of the processes, to avoid modifications of the latter; however, such equipments are expensive, thus increasing the final cost of the products. More recently, the industries are becoming forced to adopt measures to prevent pollution from the beginning of the manufacturing processes in order to diminish the output of wastes. This work describes some tools used for the prevention, control and mitigation of the environmental pollution. Such tools or solutions include the development of preventive monitoring programs using early-warning signals, the design and application of clean technologies, the formation of a pro-environmental education in citizens, the evaluation of costs and values of natural resources, as well as ascribing costs to pollution, and the use of Environmental Management as a business strategy for the best exploitation of resources and a minimal generation of wastes.

---

**Key words:** Pollution/ Prevention/ Alarm signals/ Environmental Education/ Clean Technologies/ Environmental Economy and Management.

## I. INTRODUCCIÓN

La problemática de la contaminación surgió con la Revolución Industrial, a mediados del siglo XVIII con la aparición de la máquina de vapor. Los graves problemas de contaminación comenzaron cuando las emisiones y descargas de los procesos industriales sobrepasaron la capacidad de autopurificación de los cuerpos receptores (agua, aire y suelo), generando enfermedades en los seres humanos y especies animales por la alteración en los ecosistemas [1].

En efecto, para finales del siglo XIX, en países industrializados como Inglaterra, Alemania, Canadá, Francia, Holanda y Estados Unidos de Norte América, entre otros, los seres humanos, la flora y la fauna comenzaron a sufrir los efectos del deterioro ambiental. Fue entonces cuando surgieron las primeras agencias de protección ambiental, cuya función principal fue emitir leyes, reglamentos y normas para controlar y/o mitigar el impacto ambiental [2].

Los países en vías de desarrollo, para mediados del siglo XX, no tenían una legislación ambiental, de modo que no empleaban estrategias de mitigación en sus procesos de producción. Por ello, en los países desarrollados se establecieron estrategias de optimización de los procesos y mejora del ciclo de vida del producto, lo que desde el inicio del proceso de fabricación evita la generación de desechos y contaminantes y un ahorro energético que a mediano y largo plazo genera mayores beneficios económicos [3,4].

La prevención de la contaminación, es una estrategia de fuerza mayor por muchas razones. Si no se genera contaminación, entonces no existen contaminantes que gestionar. De esta forma, se evitan problemas futuros tales como aquellos derivados de los métodos de disposición o eliminación de desechos al final del proceso. El prevenir la contaminación antes de que se presente también evita situaciones que podrían poner en peligro no sólo a los miembros de la comunidad, sino a los trabajadores involucrados en la gestión de la contaminación [5,6].

Uno de los mayores beneficios de la prevención de la contaminación es que constituye una solución en lo económico. Cuando los desechos se reducen o se elimina su generación, el ahorro en costos de producción da como resultado un incremento en la competitividad. El examen cuidadoso del proceso de manufactura, necesario para planificar un método exitoso de prevención de la contaminación, puede producir una gran variedad de beneficios colaterales así como mejoras significativas en materia de conservación de recursos hídricos, energía y una mejor calidad del producto. Con frecuencia, el ahorro más importante se deriva de la reducción de responsabilidades legales en el futuro por causa de la contaminación [7].

Este trabajo describe algunas herramientas utilizadas para prevenir, controlar y/o mitigar la contaminación ambiental.

Estas soluciones incluyen la ejecución de programas de monitoreo preventivos con la utilización de señales de alarma temprana, el diseño y aplicación de tecnologías limpias, la formación de una conciencia pro-ambiental en los ciudadanos mediante la Educación Ambiental, la valoración económica de los recursos ambientales así como la asignación de precio a la contaminación como herramientas económicas para la prevención, y la Gerencia Ambiental como estrategia empresarial para el aprovechamiento de los recursos naturales y la minimización en la generación de desechos.

## II. DESARROLLO

### Principales herramientas para la prevención

#### 1. Señales de alarma temprana

La necesidad de investigar y detectar el impacto de la contaminación por compuestos químicos en la calidad ambiental, ha llevado a estudiar y desarrollar "marcadores" de los efectos biológicos de los contaminantes en los organismos [8, 9]. A este respecto, el deterioro de la salud ambiental parece ser causado por el modo sinérgico de acción de una mezcla compleja de contaminantes. Las herramientas convencionales para monitoreo ambiental pueden evaluar niveles de contaminantes y el estado de salud ambiental, pero no la interrelación entre ambos. El uso de las respuestas de los organismos, por otra parte, puede relacionar causa y efecto [9,10]. Es ampliamente aceptado que los efectos de las sustancias tóxicas sobre un ecosistema se inician con una reacción bioquímica en el individuo. Esta respuesta inicial ocurre a los niveles de organización biológica más bajos y es altamente reversible y específica. Subsecuentemente, con el incremento del impacto, se inicia una secuencia de alteraciones dentro de los niveles más complejos, llevando a la perturbación de las funciones vitales y a la muerte del organismo. En esta situación, los efectos pueden aparecer a nivel de poblaciones enteras y eventualmente, en el ecosistema [10]. Con el incremento del nivel de organización, la sensibilidad, especificidad y precisión suelen disminuir, mientras que la relevancia ecológica aumenta [11].

Las respuestas biológicas iniciales son conocidas como Biomarcadores moleculares y ofrecen información completa y biológicamente relevante sobre el potencial impacto de los contaminantes tóxicos en la salud de los organismos. Tienen la ventaja de poner en evidencia síntomas tempranos del daño causado por el contaminante y, por tanto, pueden ser utilizados como señales de alarma ante la presencia de contaminantes químicos [9, 11]. Entre los biomarcadores específicos ampliamente reseñados en la literatura se encuentran la síntesis de metalotioninas como respuesta a la contaminación por metales pesados [12, 13, 14, 15, 16, 17] y el incremento de la actividad monooxigenasa P450 como respuesta a la contaminación por hidrocarburos poliaromáticos [18, 19].

Las capacidades comprobadas de las comunidades microbianas para utilizar cierto grupo de compuestos poliaromáticos como fuentes de energía y carbono, han permitido su utilización como herramientas de bioremediación ante derrames de petróleo y otros compuestos orgánicos [18, 19]. Se han descrito las interacciones bacteria-contaminante, identificadas con respecto al lugar donde se llevan a cabo, bien sea a nivel intracelular, extracelular ó en la superficie bacteriana [20]. El incremento de la población de coliformes es empleado corrientemente como bioindicador de la contaminación por materia orgánica en cuerpos de agua [21, 22, 23, 24, 25].

Se ha propuesto la inclusión de los Biomarcadores como herramientas efectivas en las Evaluaciones de Riesgo Ecológico [26, 27]. La Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) es una herramienta de relevancia para la gestión ambiental ya que permite evaluar las tendencias temporales y espaciales de la calidad o estado de salud del ambiente [27]. Dicha herramienta permite [28, 29]: (a) implementar acciones “a priori” evitando que la degradación ambiental adquiera un carácter irreversible, (b) evaluar los efectos de la introducción de contaminantes al ambiente, (c) identificar las fuentes de contaminación y, (d) desarrollar criterios de calidad ambiental con fines regulatorios. La utilización de biomarcadores se propone en las ERE, ya que permite obtener una medida aproximada del daño de un contaminante en un organismo, población o ecosistema. Al obtener una medida potencial del daño se plantearán las medidas preventivas o mitigantes para evitarlo [30]. La aplicación de los biomarcadores está limitada por los siguientes aspectos: (1) cambios en las variables ambientales, (2) especificidad, (3) dosis-respuesta, (4) comprensión del mecanismo involucrado, y (5) experticia técnica y equipos adecuados para obtener e interpretar los resultados [11]. Una importante limitación en el uso de los biomarcadores es que pueden cambiar con las condiciones estacionales, reproductivas y otras variables ambientales [8, 11]. La especificidad de un biomarcador se ha referido a diversos grupos de contaminantes como metales pesados y ciertos compuestos orgánicos, desconociéndose para otros contaminantes. Las dosis-respuestas observadas pueden diferir entre el laboratorio y el campo. Esto es materia de atención si el énfasis está en utilizar el biomarcador como una medida biológica de los niveles de contaminación, en lugar de una medida integradora de los efectos de una mezcla de contaminantes en el organismo. La comprensión del mecanismo es necesaria para la interpretación y aplicación del biomarcador [11] y se requieren mayores investigaciones para dilucidar estos mecanismos.

## 2. Tecnologías limpias

La aplicación de tecnologías limpias, como sustitutas a las tecnologías tradicionales más contaminantes, son cada vez más estudiadas como herramientas de prevención. El

industrial puede tomar dos posturas ante la contaminación, sabiendo que si contamina el medio, se enfrentará a la legislación y a la población en general. Estas dos posturas son la Descontaminación y la Anticontaminación. La primera se refiere a la instalación de equipos que controlen y/o eliminen los agentes contaminantes mediante tratamientos externos, como por ejemplo filtros, depuradoras, plantas de reciclado, incineradores y vertederos controlados, entre otros. El segundo criterio trata de intervenir en los procesos mediante la aplicación de tecnologías limpias, de forma que no se genere contaminación. Se trata de incluir tratamientos internos al proceso que buscan evitar la contaminación y no procesarla [2, 3, 4, 5].

Las tecnologías limpias consisten en la aplicación de estrategias que incluyen técnicas tales como reciclado, sustitución, recuperación y revalorización. Pueden ser muy sencillas, pues se puede tratar de un simple cambio en un procedimiento, o pueden ser sofisticadas, con importantes inversiones previas en investigación [6, 7]. Por ejemplo, un cambio simple podría ser el compostaje de los residuos urbanos para convertir materia orgánica residual en abono para mejorar la calidad del suelo para la agricultura. Como ejemplo de un cambio sofisticado, se encuentran las investigaciones que se realizan para mejorar e impulsar las variedades de plantas cultivables tolerantes tanto a herbicidas como a las plagas (biotecnología). Entre las ventajas que tiene la aplicación de tecnologías limpias se encuentran: (a) se consiguen mejores resultados al no crear contaminación; (b) los sistemas implantados son eficaces, fiables y permanentes, con grandes incrementos en la productividad y altamente rentables; (c) implican ahorros considerables en cánones y tasas, y; (d) la prevención implica una ventaja económica evidente en comparación con la descontaminación [5].

En una finca o modelo físico ideal, pueden integrarse diferentes tecnologías limpias, dirigidas a minimizar los desperdicios, los impactos negativos sobre los recursos naturales y el subsidio energético: fertilizantes y biocidas. Así mismo, se busca maximizar el flujo energético en el sistema. Para lograr esto, se aplican técnicas que refuerzan la integración, la diversificación, el reciclaje de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico, el uso de fuentes de energías locales y alternas, el fraccionamiento de la biomasa vegetal, los cultivos de alto rendimiento, los árboles multipropósito y el uso y control de las aguas servidas; así como también el manejo integrado de plagas, rotación y asociación de cultivos y labranza mínima [31, 32].

Otras medidas que pueden considerarse como tecnologías limpias aplicadas a la agricultura, son: recoger y clasificar los residuos de naturaleza inorgánica para su posterior venta, reutilización o destrucción adecuada; retirar los cadáveres de animales (ganado) a lugares que permitan ser utilizados por los organismos carroñeros; enterrar en labor profunda rastrosos y residuos vegetales; utilizar rastrosos vegetales

como fuente alternativa de agroenergía [3, 34, 35]. Entre las alternativas que propone Altieri [36, 37] para mejorar la productividad y resiliencia de los sistemas agroecológicos, se encuentran diferentes diseños de policultivos, sistemas diversificados de cultivos de maleza y cultivos de cobertura, entre otras. Debido al auge que han tenido las tecnologías limpias, existe gran variedad de productos comerciales que entran en la clasificación de orgánicos y son utilizados cada vez más por los agricultores comprometidos con el proceso de la agroecología. Como ejemplo tenemos los siguientes: humus de lombriz (abono); Tricobiol (fungicida); Nemabiol (nematicida) y Biograss (insecticida), entre otros [38, 39].

Enmarcado dentro de la utilización de la Tecnologías limpias se encuentra el concepto “Diseño para el Medio Ambiente (DMA)” propuesto en 1992 para incorporar una conciencia ambiental en el desarrollo de nuevos productos. El concepto de DMA es una consideración sistemática de la función del diseño con respecto a objetivos ambientales, de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida completo del producto y del proceso. En resumen, el DMA es el diseño de productos seguros y eco-eficientes. El propósito del DMA es incluir la prevención de la contaminación en la fase de diseño del proceso, antes de especificar los productos y construir las plantas, para que el efecto sobre la eco-eficiencia sea de mayor magnitud. De nada sirve prevenir la contaminación cuando ya se han establecido los parámetros básicos del proceso, pues la adecuación de los mismos resulta siempre más costosa [2, 7]. Es importante destacar que el DMA se basa en el pleno conocimiento del ciclo de vida del producto manufacturado, lo que garantiza que se busquen innovaciones en el mismo que den lugar a una reducción de la contaminación y los residuos en algunas o todas las fases del ciclo, a la vez que se satisfacen otros objetivos de costos y rendimientos (2).

### 3. Educación ambiental

En la política de los países y en la práctica de muchos educadores a lo largo de la historia contemporánea, ha estado presente la necesidad de educar a la población acerca de las características y funcionamiento del ambiente, a través de diversos enfoques relacionados con la naturaleza, aunque estas prácticas no fueron hasta muy recientemente, conocidas como Educación Ambiental. El término Educación Ambiental es bastante reciente, popularizándose en la década de los sesenta del siglo XX. Puede decirse que surgió cuando el ser humano comenzó a cuestionar su papel en la conservación o degradación del entorno y su relación con éste [40]. En el contexto de esta sección, la Educación Ambiental se presenta como herramienta de prevención de la contaminación partiendo del hecho que la sensibilización y el conocimiento ambiental de los ciudadanos le hará adquirir las conductas pro-ambientales correspondientes.

Específicamente, la educación ambiental del estudiante

universitario es de suma importancia ya que es necesario suministrar a los futuros profesionales, las herramientas para entender y generar cambios en su entorno personal y en las políticas de sus futuros centros de trabajo en relación con el ambiente. No debe olvidarse que en la cadena de corresponsabilidades, la Universidad juega un papel clave porque en ella se forman los futuros miembros de los gobiernos que habrán de crear la legislación en materia ambiental y gestionarán las políticas públicas. Los comités técnicos y de asesoramiento también se forman en la Universidad. Los profesionales responsables de la fabricación de nuevos productos también reciben formación universitaria [41]. En este sentido, y como primer paso, es fundamental transmitir a los estudiantes universitarios los aspectos básicos de la Sustentabilidad y los conocimientos ambientales, hoy ausentes en la mayoría de los planes de estudio [41, 42, 43]. Deben potenciarse las actividades encaminadas a incorporar temas ambientales en los planes de estudios de las diferentes carreras, ya sea introduciendo la variable ambiental en las asignaturas existentes o bien creando materias de ambiente y desarrollo de carácter obligatorio.

Una propuesta viable sería poner en marcha un proyecto de formación y concienciación ambiental en las universidades, fundamentado en acciones para definir la política ambiental, responder a los problemas ambientales y educar a la comunidad. Las acciones a ser emprendidas serían: el establecimiento de una política ambiental institucional, la creación de nuevas asignaturas de contenido ambiental y la ejecución de un programa de formación ambiental para profesores [44, 45].

La educación ambiental para adultos fue ensayada en poblaciones mineras de la Reserva Forestal Imataca, ubicada en el sur de Venezuela, que representa un bosque húmedo tropical de la Amazonia. Esta reserva ha sido explotada artesanalmente por muchos años para la extracción del oro de aluvión con la utilización de técnicas agresivas para el ambiente que incluyen el uso del mercurio y la deforestación de grandes áreas boscosas [46]. Se formuló un Programa de Educación Ambiental, cuyo objetivo fue sensibilizar y entrenar a los mineros en la restauración de las áreas afectadas por sus actividades de extracción y alertarlos respecto a los efectos del mercurio sobre la salud. Los resultados obtenidos generaron un patrón de referencia. La divulgación de esta experiencia educativa puede servir como punto de partida para otros estudios relacionados con la educación ambiental para adultos en contextos socio-económicos desfavorables como la minería aurífera artesanal.

### 4. Economía ambiental

Los problemas ambientales globales generados por la contaminación pueden ser considerados como variables económicas y por tanto deben ser analizados en términos

económicos. Los métodos para la valoración económica de la calidad ambiental representan una poderosa herramienta para la prevención y el control de la contaminación [47, 48]. Esta herramienta permite: a) contar con argumentos económicos reales que justifiquen el uso de tecnologías limpias, b) conocer la magnitud económica de un delito ambiental, y c) desarrollar una cultura de prevención basada en el costo económico incorporándolo en los estudios de costo-beneficio de cualquier proyecto de inversión [49, 50, 51].

Al analizar aspectos relacionados con la conceptualización económica de la contaminación, con la determinación de su nivel óptimo, tanto para los diferentes agentes económicos implicados como para la sociedad en su conjunto, y los métodos propuestos para alcanzar este nivel óptimo de contaminación [7, 51] se define la contaminación como una externalidad negativa de cualquier actividad de producción, cuyos costos asociados deben ser asumidos (internalizados) por el agente económico que la produce. La contaminación, por tanto, implica un gasto siempre que el agente económico que la sufre no sea compensado por el agente que la genera. En este sentido, el nivel socialmente óptimo de contaminación está determinado por la intersección de las curvas del costo marginal del agente que sufre la contaminación y el beneficio marginal del agente económico que la genera [7, 51, 52]. El nivel óptimo de contaminación puede ser estimado por varios métodos, tales como: el método impositivo descrito por Pigou y la libre negociación entre las partes descrito por Coase [53, 54]. Otras políticas ambientales utilizadas para alcanzar el nivel óptimo de contaminación son: (a) la fijación de estándares ambientales, estableciendo la cantidad máxima de contaminación que se permite al agente contaminante; (b) la fijación de subsidios para reducir la contaminación, estimulando al agente contaminante para que invierta en tecnologías limpias; y (c) la emisión de permisos de contaminación, entre otros. Los resultados de esta investigación, junto con investigaciones previas en materia de asignación de precios a los bienes ambientales [55] y del precio de los ecosistemas únicos [56], constituye un punto de partida para explorar la viabilidad de esta herramienta para la prevención y el control de la contaminación ambiental así como para el adecuado manejo de los recursos naturales.

## 5. Gerencia ambiental

Entre las principales estrategias propuestas a nivel empresarial para prevenir los problemas de contaminación se encuentran los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA). Estos sistemas constituyen la vía con la cual una organización puede identificar y manejar sistemáticamente sus aspectos e impactos ambientales [3, 4, 5]. Los SGA están muy relacionados con los sistemas de gestión de la calidad, proporcionando un proceso sistemático y cíclico de mejora continua. En este sentido, un SGA forma parte de la estructura organizacional de la empresa que permite

controlar los procesos susceptibles de generar daños al ambiente, minimizando los impactos ambientales de sus operaciones y mejorando el rendimiento de sus procesos. Así mismo, identifica políticas, procedimientos y recursos para cumplir y mantener una gestión ambiental efectiva en una empresa [57].

Los SGA comienzan con la planificación de un resultado deseado (es decir, una mejora de la actuación ambiental), luego implantando un plan, comprobando si el plan funciona y, finalmente, corrigiendo y mejorando el plan basándose en las observaciones que surgen del proceso de comprobación [3, 57]. La aplicación de los SGA es una de las estrategias más usadas por las empresas para mejorar su actuación ambiental a la vez que mejoran sus metas económicas, pues se enfocan en la búsqueda de un desarrollo sostenible bajo un esquema eco-eficiente [58]. Además, los SGA son la base del conjunto de normas ambientales desarrolladas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) en 1996, y son certificables bajo una de dichas normas (ISO 14001), lo que le da una ventaja competitiva a la hora de posicionar el producto en el mercado internacional [57, 58].

Dado que una de las ventajas comparativas de controlar los problemas de la contaminación de una empresa es la mejora de su competitividad por la colocación de sus productos en el mercado internacional, resultó de interés revisar los esfuerzos que en materia ambiental están realizando las empresas petroleras a nivel mundial [3]. Los resultados del análisis indican que sólo aquellas empresas cuya directiva y gerencia se encuentran comprometidas con los propósitos planteados en su política ambiental, han logrado el funcionamiento y la aplicación de los sistemas ambientales propuestos. El apoyo de la alta gerencia de la empresa es fundamental para lograr todos los objetivos planteados y su internalización por las diferentes unidades operacionales y sus departamentos componentes. Este compromiso se hace evidente en Shell, Statoil, BP y Exxon-Mobil.

Chevron-Texaco y Unocal están trabajando en el establecimiento de los sistemas integrados a sus operaciones; en algunos casos ya han logrado resultados al obtener certificaciones internacionales de algunas de ellas. En las compañías estatales Pemex, Petrobras y PDVSA, la situación es similar, con la diferencia de que PDVSA se encuentra en el proceso de integración o planteamiento del Sistema. Es posible seguir los pasos de diferentes compañías energéticas que han propuesto estos Sistemas Integrados como una vía factible para lograr una imagen sólida de compromiso ambiental, donde es necesario realizar fuertes inversiones de capital para lograr cambios tangibles; de allí que no sólo basta con tomar la decisión de desarrollar un sistema certificable, sino asumirlo como esencia fundamental del negocio, que bajo un estricto control y mejora continua, puede llegar a convertirse en clave para mejorar la productividad y competitividad de la empresa.

Resultados similares a los detectados en PDVSA fueron encontrados tras el análisis de cien (100) empresas venezolanas medianas y pequeñas (5). Las empresas venezolanas se encuentran principalmente en el proceso de planificación y desarrollo de los Sistemas de Gestión Ambiental. Las empresas multinacionales en Venezuela y América Latina, han generado una fuerte presión sobre las empresas nacionales, ya que se encuentran más avanzadas en el desarrollo de Tecnologías limpias y en la aplicación de Sistemas de Gestión Ambiental. Actualmente se busca diagnosticar el estado en que se encuentran las empresas medianas y grandes de los países en América Latina con respecto a sus actividades en pro del ambiente y la incorporación de la gerencia ambiental dentro de su estructura organizacional.

En el mismo contexto, los resultados de la investigación sobre las estrategias empresariales para la conservación ambiental en el sector industrial de Brasil, en la cual fueron entrevistados propietarios y ejecutivos de diferentes empresas, indican que ambos grupos perciben como remotos los retornos de los proyectos centrados en la conservación ambiental (59). Los ejecutivos se mostraron menos reticentes y más pro-activos respecto a las inversiones ambientales, percibiendo fácilmente el valor estratégico en los proyectos de conservación ambiental. Los empresarios y ejecutivos de las empresas más contaminantes están volcados a atender las exigencias legales y muy raramente consiguen percibir el valor económicamente estratégico en el área de Ambiente. Los empresarios y ejecutivos de las empresas menos contaminantes, evalúan como rentables las inversiones y dan valor económicamente estratégico a los proyectos orientados a la conservación ambiental.

### III. CONCLUSIONES

- 1) Los esfuerzos dirigidos a minimizar la corriente de desechos generados por los diferentes procesos industriales y urbanos han conducido a varias estrategias y herramientas preventivas para minimizar los costos de limpieza y reducir la contaminación ambiental.
- 2) A nivel ecológico, la detección temprana de algunas señales que predigan un futuro daño irreversible en el ecosistema puede ser de gran ayuda para prevenir los daños. Las propuestas más recientes a este respecto contemplan la inclusión del uso de los biomarcadores en los estudios de impacto ambiental (EIA) y en los estudios de riesgo ecológico (ERE) como estrategias preventivas.
- 3) Una interesante herramienta de prevención, control y mitigación de la contaminación está directamente asociada con la sensibilización y formación ambiental de los ciudadanos de tal manera que reduzcan la generación de sus desechos, tanto en sus hogares como en sus trabajos.

- 4) A nivel industrial la práctica preventiva está asociada con la aplicación de tecnologías limpias a los procesos de producción, a la materia prima, a los protocolos de mantenimiento e incluso a la generación de productos finales más amigables con el ambiente.
- 5) La valoración económica de los bienes ambientales y la asignación de un precio a la contaminación representan herramientas económicas que podrían ser de gran ayuda en la gestión ambiental.
- 6) La incorporación de la variable ambiental en la estructura organizacional de las empresas representa una importante estrategia corporativa para la reducción de los desechos y de los procesos contaminantes.

### IV. REFERENCIAS

- 1) Villegas, A., Reyes, R., Galván, L., Problemática ambiental en Venezuela y el mundo. Universidad, Ciencia y Tecnología. 2004; 8: pp.117-125.
- 2) Bifani, P., Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. IEPALA Editorial. España, 1999, 593 pp.
- 3) Guédez, C., de Armas, D., Reyes, R., Galván, L., Los sistemas de gestión ambiental en la industria petrolera internacional. Interciencia. 2003; 28: pp.528-533.
- 4) Reyes, R., Galván, L., Guédez, C., de Armas, D., La Gerencia Ambiental en el sistema productivo venezolano. Universidad, Ciencia y Tecnología. 2002; 6: pp.155-159.
- 5) Villegas, A., Reyes, R., Galván, L., Gestión ambiental bajo ISO 14001 en Venezuela. Universidad, Ciencia y Tecnología. 2005; 10: pp.63-69.
- 6) Field, B., Economía Ambiental. Una Introducción. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Colombia, 1995, pp. 587.
- 7) Reyes, R., Galván, L., Aguiar, M., El precio de la contaminación como herramienta económica e instrumento de política ambiental. Interciencia. 2005; 30: pp.436-441.
- 8) Reyes, R., Las metalotioninas como biomarcadores de la contaminación ambiental por metales pesados en organismos acuáticos. Interciencia. 1999; 24: pp.366-371.
- 9) Bucheli, T., Fent, K. Induction of cytochrome P 450 as a biomarker for environmental contamination. Crit. Rev. Env. Sci. Tech. 1995; 25: pp.201-268.

- 10) Depledge, M., Aagaard, A., Gyorkos, P., Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioral biomarkers. *Mar. Pollut. Bull.* 1995; 21: pp.19-27.
- 11) Melacon, M., Bioindicators used in aquatic and terrestrial monitoring. *Handbook of Ecotoxicology.* Lewis Publisher Press Inc. Boca Raton. USA, 1995, pp.755.
- 12) García, E., Reyes, R., Bioconcentration of mercury in *Acetabularia calyculus*: Evidence of a polypeptide in whole cells and anucleated cells. *Tox. Env. Chem.* 1996; 55: pp11-18.
- 13) García, E., Reyes, R., Induction of mercury-binding peptide in whole cells and anucleated cells of *Acetabularia calyculus*. *Tox. Env. Chem.* 1998; 67: pp.189-196.
- 14) García, E., Reyes, R., Synthesis pattern of an Hg-binding protein in *Acetabularia calyculus* during short-term exposure to mercury. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.* 2001; 66: pp.357-364.
- 15) Salazar, R., Reyes, R., Efectos tóxicos y mecanismos de tolerancia al cadmio en los seres vivos. *Universidad, Ciencia y Tecnología.* 2000; 13: pp.17-22.
- 16) Reyes R., Salazar, R., García, E. Incorporation of cadmium by *Acetabularia calyculus*. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 2001; 67: pp.749-755.
- 17) Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R., Castrillo, M., Biomarcadores de la contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia.* 2008; 33: pp.112-119.
- 18) Li, Q., Ogawa, J., Schmid, R., Shimizu, S., Engineering cytochrome P450 BM-3 for oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001; 67: pp.5735-5739.
- 19) Mastandrea, C., Chichizola, C., Luduena, B., Sánchez, H., Álvarez, H., Gutiérrez, A., Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2005; 39: pp.27-36.
- 20) Bozo, L., Fernández, M., López, M., Reyes, R., Suárez, P., Biomarcadores de la contaminación química en comunidades microbianas. *Interciencia.* 2007; 32: pp. 8-13.
- 21) Martínez-Alonso, M., Gaju, N., El papel de los tapetes microbianos en la biorrecuperación de zonas litorales sometidas a la contaminación por vertidos de petróleo. *Ecosistemas. Revista técnica y científica de ecología y medio ambiente.* <http://www.revistaecosistemas.net/> 2005; pp 1-12.
- 22) Suárez, P., Reyes, R., La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. *Interciencia.* 2002; 27: pp.160-164.
- 23) APHA, Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC. Am. Public Health Assoc. 1998; pp.234.
- 24) Fujioka, R., Indicators of marine recreational water quality. En: Hurst C.J., Knudsen G.R., McInerney M.J., Stetzenbach L.D. y Walter M.V. *Manual of Environmental Microbiology.* 2da edición. ASM Press, Washington D.C. 2002; pp: 234-243.
- 25) Caruso, G., Crisafi, E., Mancuso, M., Development of an enzyme assay for rapid assessment of *Escherichia coli* in seawaters. *J. Appl. Microbiol.* 2002; 93: pp.548-556.
- 26) Neuberger-Cywiak, L., Reyes, R., Cruz, D., Biomarkers of pollution as tools for Ecological Risk Assessment (ERA). In: *Ecotoxicology Research Developments* edited by Eduardo B. Santos. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-60692-167-8. 2009; Chapter 3, en prensa.
- 27) Suter, G., *Ecological Risk Assessment.* CRC Presss. USA, 2006, pp.643
- 28) EPA., *Risk Assessment Methodologies: comparing EPA and status approaches.* No. 570990012, USA, 1990, 122p.
- 29) EPA, *Guidelines for Ecological Risks Assessment.* EPA/630/R-95/002F. USA, 1998, pp. 171.
- 30) Instituto Nacional de Ecología (INE), *Capitulo 4: La evaluación de riesgo ecológico.* México.2006. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/400/cap4>
- 31) Aldy, J., Hrubovcak, J., Vasavada, U., The Role of Technology in Sustaining Agriculture and the Environment. *Ecol. Econ.* 1998; 26: pp.81-96.
- 32) Seoáñez, M., *Medio Ambiente y Desarrollo. Manual de gestión de los Recursos en Función del Medio Ambiente.* Mundi-Prensa. España, 1998, pp.592.
- 33) Marco, O., Reyes, R., *Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura.* *Interciencia.* 2003; 28: pp. 252-258.
- 34) Escobar, A., Messa, H., Ruiz-Silvera, C., Rodríguez, J., *Proyecto de Establecimiento y evaluación de un Modelo*

- Físico de Agricultura Tropical Sostenible. Taller Internacional: Agricultura Tropical Sostenible. Experiencias y desafíos para el tercer milenio. Fundación Polar. CIARA. Venezuela, 1998, pp. 65-72.
- 35) Nieto, A., Murillo, B., Troyo, E., Larinaga, J., Garcia, L., El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*. 2002; 27: pp.417- 421.
- 36) Altieri, M., *Modern Agriculture: Ecological impacts and the possibilities for truly sustainable farming* Division of Insect Biology University of California, Berkeley, USA. <http://www.internet.agroecology in action.htm/1998>.
- 37) Altieri, M., *Multifunctional Dimensions of Ecologically-based Agriculture in Latin America* Department of Environmental Science Policy and Management University of California, Berkeley, USA. <http://www.internet.agroecology in action.htm/1999>.
- 38) Rugby, D., Cáceres, D., *Organic Farming and the Sustainability Agricultural Systems*. *Agricultural Systems*. 2001; 68: pp. 21-40.
- 39) Anzola, L., *Índice Agropecuario*. Edición 27. Estado Aragua, Venezuela, 2002, 90p.
- 40) Pellegrini, N., *Environment in the National Park System of Venezuela*. *Environ. Educ. Res.* 2002; 8: 463 – 473.
- 41) Domingo, J., Gámiz, J., Martínez, H., *Los planes de medio ambiente en las universidades catalanas. Ideas Brillantes. Espacio de reflexión y comunicación en Desarrollo Sostenible*. 2004; 1-2.
- 42) Pellegrini, N., Reyes, R., *Los mapas conceptuales como herramientas didácticas en la educación científica*. *Interciencia*. 2001; 26: pp.144-149.
- 43) Reyes, R., De Sousa, A., Petersen, J., *La prevención de la contaminación industrial como asignatura para la formación ambiental universitaria*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 2006; 10: pp.198-204.
- 44) Pellegrini, N., Reyes, R., Martín, A., Aguilera, M., Pulido, M., *La Dimensión Ambiental en la Universidad Simón Bolívar*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 2007; 11: pp.45-50.
- 45) Pellegrini, N., Reyes, R., Pulido, M., *Programa de Interpretación Ambiental en la Universidad Simón Bolívar: sus recursos, su cultura y su historia*. *Educere*. 2007b; 11: pp.605-611.
- 46) Reyes, R., Pellegrini, N., Farah, D., *La educación ambiental para la pequeña minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Estado Bolívar, Venezuela*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 2003; 7: 262 - 266.
- 47) Azqueta, D., *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. McGraw-Hill Interamericana, S.A. España. 1995. pp.299.
- 48) Pearce, D., *Economía Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. México. 1976. pp.258.
- 49) Pearce, D., Turner, R., *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Celeste Ediciones. España. 1995. pp.448.
- 50) Azqueta, D., *Introducción a la Economía Ambiental*. Mc.Graw-Hill Interamericana, S.A. España. 2002. pp.420.
- 51) Romero, C., *Economía Ambiental. Aspectos Básicos*. *Revista de Occidente*. 1993; 149: 25-39.
- 52) Romero, C., *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales*. Alianza Editorial. España. 1997. p. 214.
- 53) Pigou, A., *The Economics of Welfare*. McMillan, S.A. UK. 1920. pp. 298.
- 54) Coase, R., *Problem of Social Cost*. *J. Law and Economics*. 1960. 1: pp.1-44.
- 55) Reyes, R., Galván, L., *Asignación de Precios a los Bienes Ambientales como Instrumento de Gestión Tecnológica*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 1999; 3: pp.3 - 7.
- 56) Galván, L., Reyes, R., *Asignación de precio a los ecosistemas como bienes ambientales únicos*. *Interciencia*. 1999; 24: pp.14-16.
- 57) ISO (International Organization for Standardization), *Environmental Management Systems. Specification with guidance for use ISO 14001*. Suiza. 1996a.
- 58) ISO (International Organization for Standardization), *Environmental Management Systems. General Guidelines on Principles Systems and Supporting Techniques (ISO 14004)*. Suiza. 1996b.
- 59) Clemente, A., Souza, A., Galván, L., Reyes, R. *Estrategias empresariales para la conservación ambiental en el Sector Industrial*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 2005; 9: pp.3-9.