

## **Sistema de gestión ambiental para minimizar la contaminación por mercurio (Hg) en la Planta Cloro Sosa de Sagua la Grande**

### **Environmental Management System to Minimize Mercury Contamination in the Chlor-Alkaliplant of Sagua la Grande**

**MSc. Miriela Rodríguez -Pequeño<sup>I</sup>, Dra. Margie Zorrilla-Velazco<sup>II</sup>, Dra. Gretel Villanueva-Ramos<sup>III</sup>**

I:Filial Universitaria Municipal "Mario Rodríguez Alemán de Sagua la Grande", Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. mirielarp@uclv.edu.cu

II:Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA), Universidad Central "Marta Abreu"de Las Villas, Santa Clara, Cuba. margiezv@uclv.edu.cu

III:Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara,Cuba. gretel@uclv.edu.cu

---

#### **RESUMEN**

El presente trabajo está dirigido al diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma NC-ISO 14 001:2004, en la planta electroquímica Elpidio Sosa de Sagua la Grande, provincia Villa Clara. Se propone una estrategia para la evaluación del nivel de gestión ambiental que contempla los principios, objetivos y metas que son necesarios para una gestión primaria segura de los lodos mercuriales. La evaluación económica demostró la factibilidad de la aplicación del Sistema de Gestión Ambiental propuesto con un valor del VAN de \$ 48 528,34 una TIR del 49 % y un período de recuperación inferior a los tres años.

**Palabras claves:** mercurio, sistema de gestión ambiental, planta cloro sosa.

---

#### **ABSTRACT**

The present work is focussed to design an Environmental Management System based on the norm NC-ISO 14 001:2004 in the electrochemical plant Elpidio Sosa of Sagua la Grande city, Villa Clara province. A strategy is developing for the evaluation of environmental management level from principles, objectives and goals for a sure primary management of mercury solid wastes (mercurial wastes). The economic evaluation showed the feasibility of applying the Environmental Management System proposed with a Net Present Value (NPV) of \$ 48 528, 34 an Internal Rate of Return (IRR) of 49% and a payback period lower three years.

**Keywords:** mercury, environmental management system, chlor-alkali plant.

---

## **INTRODUCCIÓN**

La preocupación por el cuidado del entorno se ha esparcido por todos los continentes, creándose asociaciones, organizaciones y grupos ecológicos que con su acción han impulsado transformaciones económicas y sociales que han llevado a cambios favorables, en las condiciones de vida de la población y un incremento de las acciones encaminadas a proteger y conservar nuestra naturaleza.

Las actividades de las empresas industriales son las que más impactos negativos causan al medio ambiente, debido fundamentalmente a procesos de producción y servicios ineficientes por las tecnologías y materias primas empleadas y los gastos de energía requeridos, lo que afecta la productividad, eficiencia y competitividad de las empresas [7].

Las plantas de cloro-álcali con tecnología de celdas de mercurio ya no son consideradas una buena práctica industrial y la Unión Europea ha indicado que dichas instalaciones requieren obtener licencias basadas en las mejores tecnologías disponibles.

Recientemente en Cuba fue realizado un estudio en el cual se presentó una propuesta tecnológica basada en el tratamiento térmico de los lodos mercuriales generados por la planta [1], sin embargo, hasta la fecha no se han reportado estudios de gestión ambiental que permitan minimizar la contaminación por mercurio metálico, enfocadas no solo a la generada por los residuos, sino también al manejo de las materias primas del proceso, a la incidencia directa en los operarios y a la contaminación del suelo y del manto freático por la mala manipulación de los lodos.

El objetivo principal del presente trabajo es proponer un sistema de gestión ambiental para la planta Cloro Sosa, que permita mejorar su desempeño ambiental mediante el control de los impactos negativos provocados por el mercurio a la salud humana y al medio ambiente.

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Consciente de la necesidad de adoptar medidas de alcance global que reduzcan las emisiones de mercurio de forma efectiva, la comunidad internacional ha adoptado

diversas iniciativas para regular en lo posible la producción, uso, manejo y gestión de este metal pesado. Las principales acciones a nivel internacional se están desarrollando bajo el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [8]. Por ejemplo, en Uruguay, hay una normativa ambiental referida a las sustancias químicas en general incipiente y heterogénea; en la misma existen vacíos reglamentarios y dificultades de definición y alcance y no se contempla el ciclo de vida de las sustancias químicas, no se prevé el manejo de la información de interés general (registro y disponibilidad) y no existen instrumentos económicos para la gestión ambientalmente adecuada de las mismas [6].

Por otra parte, varias empresas en Venezuela han optado y calificado para certificaciones ISO 14.000, donde son contemplados los aspectos de manejo de sustancias, materiales y desechos peligrosos, entre los cuales se encuentra el mercurio. Entre ellas podemos citar: PDVSA El Furrial, DuPont de Venezuela, Ford Motors de Venezuela, Tetrapak de Venezuela y Grupo Terranova. Sin embargo, estos sistemas de gestión abordan el tema del manejo de las sustancias, materiales y desechos peligrosos de manera general, sin hacer mención específica al mercurio, sus compuestos o desechos [4].

En el Complejo Ana María Campos ya no se generan desechos contentivos de mercurio. La planta de Cloro Soda I, la cual utilizaba celdas de mercurio para la producción de cloro y soda fue cerrada en 1992, y desmantelada entre los años 2000 y 2001, siendo dispuestas las estructuras de concretos, tanques y otros elementos estructurales contentivos de mercurio en la celda de seguridad, sin previo tratamiento y mediante la técnica de confinamiento [3].

En Cuba, la única planta de cloro álcali que existe todavía utiliza el mercurio en su producción. Los residuos mercuriales son depositados en nichos bajo condiciones no idóneas, lo cual trae consigo efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, por lo que es necesario, lograr la implementación de un sistema de gestión ambiental que permita minimizar la contaminación por mercurio en dicha planta.

## **MÉTODOS UTILIZADOS**

Inicialmente, se definen los principios para realizar una propuesta de gestión ambiental adecuada en la planta Cloro Sosa los cuales se relacionan a continuación:

1. Adecuadas condiciones de seguridad e higiene en el trabajo con mercurio.
2. Adecuada capacitación en seguridad tecnológica y ambiental.
3. Medidas adecuadas en la manipulación de materiales que contienen mercurio.
4. Condiciones adecuadas de almacenamiento de los lodos.

Para lograr un diseño riguroso del Sistema de Gestión Ambiental para la planta Cloro Sosa, que permita minimizar los impactos negativos provocados por el mercurio, resulta imprescindible la evaluación del nivel de gestión hasta alcanzado por dicha empresa, única en el país poseedora de este tipo de contaminantes. En la evaluación del nivel de gestión se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales: primero, identificar las fuentes actuales de contaminación por mercurio en la planta; y segundo, la forma en que manejan y gestionan estos residuos.

Partiendo de las características propias de la entidad y teniendo en cuenta que en su objeto social, se llevan a cabo la generación de un conjunto de impactos negativos que pueden atentar contra el cuidado y conservación del medio ambiente, se identificaron y valoraron aquellos que resultan más significativos en el

desempeño de sus actividades con vista a proponer las medidas correctivas para su mitigación o eliminación, ellos son:

- Contaminación de la atmósfera.
- Contaminación del suelo.
- Contaminación de las aguas.
- Efectos sobre el hombre.

Corroborada la existencia en la entidad de algunas irregularidades en todo el proceso que tiene que ver con el mercurio, se procede a aplicar la lista de chequeo que tiene como objetivo determinar el manejo adecuado de esta sustancia en la entidad:

1. ¿Cuenta la planta con un inventario general de residuos contaminados con mercurio?
2. ¿Se controlan y gestionan los residuos líquidos y sólidos contaminados con mercurio?
3. ¿Están identificados los riesgos en las áreas donde se trabaja con mercurio?
4. ¿Tienen conocimiento los trabajadores sobre los efectos que para la salud y el medio ambiente representa la exposición al mercurio?
5. ¿El personal que trabaja directamente en la planta se encuentra capacitado sobre la seguridad en la manipulación de equipos y depósitos que contienen mercurio?
6. ¿El personal que trabaja directamente en la planta conoce de los procedimientos de primeros auxilios en caso de accidente y de los medios de protección adecuados para el manejo seguro de esta sustancia?
7. ¿Todos los trabajadores cumplen estrictamente con las medidas de seguridad y utilizan los medios de protección adecuados?
8. ¿Se realiza de forma segura la transportación de los lodos mercuriales a los nichos?
9. ¿Existen planes de emergencia en caso de accidente o derrames de mercurio?
10. ¿Se le realiza algún tipo de tratamiento a los lodos mercuriales?
11. ¿Se cuenta con algún conocimiento sobre el grado de percepción comunitaria respecto a los riesgos asociados a la contaminación por este elemento?

Las respuestas a cada una de las preguntas de esta lista de chequeo serán Si o No. El resultado dará una idea de cómo la planta realiza la gestión de manera general con respecto a la contaminación con mercurio. Si menos del 50 % de las respuestas son SI, podemos afirmar que en dicha entidad existe una inadecuada gestión y si entre el 50 % y el 80 % son afirmativas dicha entidad está en camino de lograr una buena gestión pero todavía le faltaría mucho por hacer. Si se obtienen resultados superiores al 80 % existe un adecuado nivel de gestión en el que solo faltaría perfeccionar algunos aspectos.

Como resultado de la evaluación medioambiental de la entidad y del análisis de los principales aspectos ambientales que tienen una incidencia directa o indirecta sobre el medio ambiente, se elaboró una relación de acciones impactantes y factores impactados que se deben tener en cuenta para la identificación y valoración de los impactos ambientales que genera este proceso. Esto permite valorar las repercusiones ambientales de las prácticas de gestión que se proponen.

#### Acciones impactantes

- A1 - Generación y emisión de residuos gaseosos.
- A2 - Generación y emisión de residuos líquidos.
- A3 - Generación y emisión de residuos sólidos.
- A4 - Indisciplina en el uso de los medios de protección e higiene del trabajo.

A5 - Inadecuada manipulación y transportación de los lodos mercuriales.  
A6 - Capacitación del personal.

Factores impactados

F1 - Atmósfera.

F2 - Suelo.

F3 - Aguas Subterráneas.

F4 - Aguas Superficiales.

F5 - Biota.

F6 - Paisaje.

F7 - Hombre.

Una vez identificadas las acciones y los factores que, presumiblemente, serán impactados, la matriz de importancia permitirá obtener una valoración cualitativa al nivel requerido por una evaluación de impacto ambiental simplificada. Cada casilla de cruce en la matriz dará la importancia del efecto de cada acción impactante sobre cada factor ambiental impactado.

Para la identificación de los impactos se tiene en cuenta algunos parámetros matriciales fundamentales de acuerdo a la matriz de importancia que propone la Guía Metodológica de Evaluación de Impactos Ambientales [2].

Una vez concluida la revisión inicial se particularizará en las deficiencias detectadas para diseñar los objetivos, metas y acciones sobre los cuales se encaminará la propuesta de gestión.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se realiza la revisión ambiental inicial teniendo en cuenta que la planta Cloro Sosa de Sagua la Grande ha generado residuos mercuriales por más de cuatro décadas, lo cual constituye un potencial de riesgo ambiental el cual pudiera mejorarse con la implementación de un sistema de gestión ambiental.

Las pérdidas de mercurio que pueden ocurrir en el sistema vienen derivadas de su contacto durante el proceso con diferentes corrientes de sustancias que intervienen en él, además de los derrames que por problemas mecánicos existen en el proceso, de los desechos que se obtienen en la etapa de purificación de la salmuera y en general en las diferentes fases del proceso, incluyendo su evaporación.

Al aplicar la Lista de Chequeo, una vez detectado que poseían algunas irregularidades en el proceso, se pudo comprobar que solo el 42 % de las respuestas fueron afirmativas, por lo que en esta planta no existe un adecuado sistema de gestión ambiental que minimice la contaminación por mercurio.

Según el estudio de impacto ambiental realizado y la matriz de importancia obtenida, los factores mayormente impactados son el suelo y el hombre y las acciones más impactantes son la manipulación y transportación de los lodos mercuriales seguida de la emisión de residuos sólidos, aspectos sobre los cuales se encaminará la propuesta de gestión para esta empresa.

En las tablas 1 y 2, se presentan los objetivos, metas y acciones sobre los cuales se encaminará la propuesta de gestión.

**Tabla 1**

Desarrollo de los objetivos 1 y 2 del sistema de gestión

<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>	<b>Acciones</b>
1. Lograr adecuadas condiciones de seguridad e higiene en el trabajo con mercurio.	1.1 Lograr que el 100 % de los trabajadores que manipulan el mercurio estén aptos para realizar esta tarea.	1.1.1 Determinar el personal que no puede trabajar con este elemento.
		1.1.2 Realizar exámenes periódicos al personal que manipula mercurio.
		1.1.3 Realizar programas de vigilancia médica.
	1.2 Garantizar que el 100 % de los trabajadores conozcan las medidas de seguridad e higiene en el trabajo con dicha sustancia.	1.2.1 Capacitar al personal sobre las recomendaciones generales que debe tener en cuenta para garantizar su salud.
	1.3 Garantizar el uso del 100 % de los medios de protección requeridos para este trabajo.	1.3.1 Velar que se usen los medios de protección personal correctamente.
2. Lograr una adecuada capacitación en seguridad tecnológica y ambiental.	2.1 Garantizar que el 100 % de los trabajadores que trabajan con mercurio estén debidamente capacitado	2.1.1 Entrenar al personal que trabaja con mercurio sobre los peligros que el mismo representan para su salud y el medio ambiente. 2.1.2 Entrenar en el uso de equipos de protección personal y su mantenimiento. 2.1.3 Capacitar en los aspectos de higiene personal en la manipulación de mercurio. 2.1.4 Entrenar en respuestas a emergencias ante derrames o escapes.

**Tabla 2**  
Desarrollo de los objetivos 3 y 4 del sistema de gestión

<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>	<b>Acciones</b>
3. Establecer medidas adecuadas en la manipulación de materiales que contienen mercurio	3.1 Reducir en un 95 % la incorporación del mercurio al medio ambiente.	3.1.1 Aplicar metodologías para el tratamiento seguro a salideros, derrames o escapes.
	3.2 Lograr la protección y salud del personal involucrado en las labores de mantenimiento en un 100 %.	3.2.1 Garantizar el uso de los equipos de protección personal.
		3.2.2 Establecer las medidas de primeros auxilios.
	3.3 Cumplir con el 100 % de los mantenimientos programados a la planta	3.3.1 Lograr que el mantenimiento que se le realiza sea el más adecuado
		3.3.2 Evaluar periódicamente el correcto funcionamiento de la planta.
	3.4 Lograr que el 95 % de la transportación de los lodos mercuriales se realice de forma segura.	3.4.1 Lograr la transportación segura del mercurio hacia los lodos
		3.4.2 Elaborar instrucciones para el manejo de derrames durante la transportación.
3.4.3 Elaborar planes de emergencias para la transportación.		
4. Mantener las condiciones adecuadas de almacenamiento de los lodos.	4.1 Garantizar que el 100 % de los lodos se encuentren en condiciones adecuadas de almacenamiento.	4.1.1 Lograr condiciones seguras de almacenamiento.

Una vez que la empresa comience a aplicar estos objetivos y metas ambientales y cumpla con las acciones propuestas para cada meta, se debe estimar como varían las acciones impactantes sobre los factores impactados, a través de una nueva valoración de las acciones impactantes, generadas con la aplicación del sistema de gestión para minimizar la contaminación por mercurio, donde todos los factores tienen una importancia positiva y el factor que más se beneficia es el hombre pues con el sistema se eliminan los peligros a que puede estar expuesto, el elemento suelo tiene un impacto moderado por la emisión de residuos líquidos, sólidos y gaseosos, porque este impacto generado antes de la aplicación de este sistema se mantiene hasta tanto el sitio sea descontaminado.

El impacto económico también es importante pues resulta necesario realizar una serie de adecuaciones, compras de piezas de repuestos, algunos materiales o adecuar las instalaciones existentes para lograr minimizar la contaminación por mercurio en la planta hasta que se pueda realizar el cambio de tecnología. Para lo

cual fue necesario considerar las externalidades asociadas. Por lo que se hace necesario determinar:

Costo de inversión: vehículo para el traslado de los lodos a los nichos de concreto se ha estimado un valor de 20 000 pesos. Tanques para el almacenamiento seguro de los lodos, para ello fue necesario el cálculo de la cantidad de residuos que se generan en la entidad, para determinar la cantidad de envases (tanques) y medios unitarizadores (paletas de intercambio y contenedores).

Costo de operación: costo de los Equipos de Protección Personal (EPP) a comprar para garantizar una adecuada higiene y protección en el trabajo para trabajadores de la planta. (Al menos 5 juegos de EPP/ año).

Para estimar el valor de estas externalidades se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Mortalidad evaluada como Años de Vidas Perdidos (AVP): 10 000 pesos /1 AVP [5]. Se tiene en cuenta la ocurrencia de un caso por año.
- Costo de un tratamiento médico: se estimó el costo de un tratamiento en \$1 500 / tratamiento, se consideran dos casos al año para un valor total de \$3 000 / año.

Se estimó el costo de algunos de los síntomas por la enfermedad profesional conocida como hydrargyria, hidrargirismo o mercurialismo que es causada por la exposición al mercurio o sus compuestos.

Costos de esta enfermedad = 1,15 (costos directos)/ casos atendidos

- Costo de incapacidad laboral: en los días de actividad restringidos (DAR) se emplea como el valor de un día de actividad restringido el salario medio de Cuba para el año 2013, el cual fue de \$10,2; aunque emplear esta aproximación tiene sus limitaciones; no se tiene en cuenta que no todas las personas tienen vínculo laboral (niños y ancianos) y que hay personas que acuden al trabajo aun sintiéndose enfermas.

Se obtiene un valor de \$ 600 por caso, considerando dos casos al año se tiene un valor de \$1200 / año.

Según los valores obtenidos para el VAN \$23 204,34 y una TIR 42 %, la implementación de un sistema de gestión ambiental para minimizar la contaminación por mercurio es viable desde el punto de vista económico y su inversión se recupera en menos de tres años aproximadamente, además, puede aceptar variaciones de hasta un 30 % de disminución de los ingresos.

## **CONCLUSIONES**

1. Las fuentes actuales de contaminación por mercurio en la planta Cloro Sosa de Sagua la Grande se focalizan fundamentalmente en las etapas del proceso de tratamiento de la salmuera, la sala de electrólisis y durante la transportación de los lodos hacia los nichos afectando la atmósfera, el suelo, las aguas y al hombre.

2. Según el estudio de impacto ambiental realizado los factores más impactados son el suelo y el hombre; las acciones más impactantes la manipulación y transportación de los lodos mercuriales seguida de la emisión de residuos sólidos.



3. La elaboración del sistema de gestión ambiental para minimizar la contaminación por mercurio en la planta Cloro Sosa de Sagua la Grande, se basa en principios generales tales como: lograr adecuadas condiciones de seguridad e higiene en el trabajo con mercurio, lograr una adecuada capacitación en seguridad tecnológica y ambiental, establecer medidas adecuadas en la manipulación de materiales que contienen mercurio y mantener las condiciones adecuadas de almacenamiento de los lodos mercuriales.

4. La evaluación económica demostró la factibilidad de su aplicación con un valor del VAN de \$23204.34 una TIR del 42% y un período de recuperación inferior a los tres años.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. BUSTO, Y. "Tratamiento térmico para la descontaminación de los lodos mercuriales generados en la industria de cloro-álcali". Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas, 2012.

2. CONESSA, V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3ra Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi - Prensa, 2000.

3. HUNT, D. Sistemas de gestión medio ambiental. Principios y prácticas. Madrid, McGraw Hill de España, S.A, 2006.

4. MARTÍNEZ S. Desarrollo de un modelo de Sistema de Gerencia Ambiental basado en las normas ISO: 14001. Venezuela: Universidad Metropolitana, 2000.

5. MENESES, E. Estimación de los costos en salud para la evaluación de externalidades. Centro de Gestión de la información y desarrollo de la energía, CUBAENERGIA, 2001.

6. MUSLERA et al. Lineamientos para un plan de acción para la gestión ambientalmente segura del mercurio en Uruguay en el sector industrial, 2011.

7. RODRÍGUEZ et al. "La gestión ambiental, herramienta para el replanteamiento estratégico de la empresa". Consultado, 29 de diciembre de 2011, from [www.eumed.net/ce/2009a](http://www.eumed.net/ce/2009a), 2006.

8. UNEP. "Global Mercury Assessment. United Nations Environment Programme, Chemicals". Geneva, Switzerland, December 2002. Disponible en línea: [http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/final-assessment-report 25nov02.pdf](http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/final-assessment-report%2025nov02.pdf), 2002.

Recibido: Mayo 2014

Aceptado: Septiembre 2014

*Miriela Rodríguez -Pequeño*. Filial Universitaria Municipal "Mario Rodríguez Alemán de Sagua la Grande", Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. [mirielarp@uclv.edu.cu](mailto:mirielarp@uclv.edu.cu)