

Enfoque a procesos y estrategias de Producción Más Limpia para reducir la contaminación por residuales oleosos

Process approach and Cleaner Production strategies to reduce pollution from oily wastes

Omar Gutiérrez-Benítez^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-3644-6245>

David Javier Castro-Rodríguez² <https://orcid.org/0000-0002-7609-3229>

José Reynol Poma-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7960-9657>

Hortensia Pérez-Valdés³ <https://orcid.org/0000-0001-5577-0107>

María Magdalena Rodríguez-Sánchez³ <https://orcid.org/0000-0003-4576-6539>

¹Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Departamento de Gestión e Ingeniería Ambiental. Cienfuegos, Cuba/Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Departamento de Química. Cienfuegos, Cuba

²Politecnico di Torino (POLITO). Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT). Torino, Italia

³Empresa Comercializadora de Combustibles, Cuba

* Autor para la correspondencia. correo electrónico: omargutierrez64@gmail.com

RESUMEN

La contaminación es uno de los principales problemas ambientales de Cuba. Las descargas de residuales oleosos sin o con déficit de tratamiento provocan impactos ambientales negativos. El objetivo fue contribuir con enfoque a procesos y estrategias de Producción Más Limpia, a la reducción de la contaminación por residuales oleosos de una empresa comercializadora de combustibles. Se

implementó un procedimiento con enfoque a procesos, integrando los ocho pasos para la solución de un problema; así como otras metodologías y herramientas específicas para los estudios técnicos. Se realizó caracterización de las aguas residuales dispuestas y de la calidad ambiental de los cuerpos receptores (aguas superficiales y subterráneas, y suelos). Se comprobó que las operaciones y el manejo de los residuales oleosos fueron aspectos ambientales potencialmente impactantes, en particular sobre la contaminación ambiental de los cuerpos receptores. En los procesos Recepción, Almacenamiento y Entrega de Combustibles; Mantenimiento; Transporte; así como Medición, Análisis y Mejora se identificaron las oportunidades de minimización de la contaminación en las fuentes de origen, de reducción del consumo de materias primas e insumos. Asimismo, de mejoras en el diseño de ingeniería y/o construcción de los sistemas de tratamiento, órganos, interconexiones y redes; así como de mejoras en las prácticas de operación y mantenimiento. Se implementa un plan de medidas correctivas, con soluciones técnico-organizativas e ingenieras, teniendo en cuenta opciones de Producción Más Limpia, para minimizar en las fuentes de origen la generación de la contaminación. La investigación ha contribuido a mejorar el desempeño ambiental de la organización.

Palabras clave: contaminación; residuales oleosos; enfoque a procesos; producción más limpia; plan de medidas.

ABSTRACT

Pollution is one of the main environmental problems in Cuba. Untreated or under-treated oily waste discharges have been caused negative environmental impacts. The objective was to contribute, with a process approach and Cleaner Production strategies, to reduce pollution from oily wastes from a fuel marketing enterprise. A procedure based in process approach integrated with the eight steps for problem solving, together with other specific methodologies and tools for technical studies, were implemented. A characterization of the wastewater disposed, and the environmental quality of the receiving bodies (surface water, groundwater and soil)

was carried out. The operations and management of oily waste were identified as potentially impacting environmental aspects on the environmental contamination of the receiving bodies. In the processes Fuel Reception, Storage and Supply; Maintenance; Transport; as well as Measurement, Analysis and Improvement were identified the opportunities to minimize a pollution at source, and to reduce the consumption of inputs and raw materials. Likewise, improvements in the engineering design and/or construction of treatment systems, organs, interconnections, and networks; as well as improvements in operation and maintenance practices were identified. A corrective measures plan has been implemented, with technical-organisational and engineering solutions, taking into account Cleaner Production options, to minimize the generation of pollution at source. The research has been contributed to improving the environmental performance of the organization.

Keywords: pollution; oily waste; process approach; Cleaner Production; action plan.

Recibido: 15/12/2021

Aceptado: 08/04/2022

Introducción

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible reconoce metas dirigidas a mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales; y reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.⁽¹⁾

Es reconocido que la contaminación ambiental es uno de los principales problemas ambientales de Cuba.⁽²⁾ Prevenir y controlar la contaminación

ambiental en las fuentes de origen como primera prioridad en la estrategia para su enfrentamiento, y reducir a niveles permisibles aquella cuya generación no pueda evitarse, promoviendo la mejor gestión de las materias primas, con la recuperación, reuso y reciclaje en los procesos económicos y productivos es un objetivo del eje estratégico Recursos naturales y el medio ambiente en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de Cuba (PNDES 2030).^(3,4)

En Cuba el Decreto No. 281/2007 reconoció a la Gestión Ambiental como un sistema componente del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal.⁽⁵⁾ Asimismo, el Decreto No. 335/2017 (derogado a los trece días del mes de abril de 2021), estableció que las empresas estatales tienen entre sus funciones elaborar e implantar el sistema de gestión ambiental; realizar periódicamente diagnósticos de la situación ambiental y definir las medidas para su solución.⁽⁶⁾ El Decreto Ley No. 34/2021 estableció que la empresa es responsable por los daños y perjuicios que ocasione a los recursos naturales o al medio ambiente; en consecuencia, está obligada a restituirlos, repararlos o indemnizarlos, según corresponda.⁽⁷⁾

En este contexto, el enfoque a procesos, uno de los principios de la gestión de la calidad, permite a las organizaciones controlar las interrelaciones e interdependencias entre los procesos del sistema, de modo que se pueda mejorar su desempeño global. Implica la definición y gestión sistemática de los procesos y sus interacciones, con el fin de alcanzar los resultados previstos de acuerdo con la política de la calidad y la dirección estratégica de la organización.⁽⁸⁾

Las actividades de extracción, refinación, distribución y uso de hidrocarburos generan residuales y pasivos ambientales contaminados; los cuales pueden provocar una amplia variedad de impactos en el medio ambiente y en la salud. Las fugas en operaciones de carga y descargas, en depósitos y tuberías, así como los vertidos directos o indirectos de residuales oleosos se identifican dentro de las fuentes principales de contaminación.^(9,10,11,12)

Las descargas de aguas residuales sin o con escaso tratamiento provocan impactos ambientales negativos.^(13,14,15)

Reportes del monitoreo ambiental de los residuales oleosos de una empresa comercializadora de combustibles en Cuba confirman el impacto de sus operaciones sobre el medio ambiente.⁽¹⁶⁾ El objetivo fue contribuir, con enfoque a procesos y estrategias de Producción Más Limpia, a la reducción de la contaminación por residuales oleosos de esa entidad.

Materiales y métodos

Se implementó un procedimiento con enfoque a procesos según la guía para una gestión basada en procesos de Beltrán *et al.*⁽¹⁷⁾ y la norma ISO 9001: 2015 “Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos”.⁽⁸⁾ La adopción de este enfoque comprendió las siguientes fases:

- Identificar y secuenciar cada uno de los procesos.
- Describir los procesos y documentarlos.
- Controlar, seguir y medir los procesos, y los resultados obtenidos.
- Mejorar los procesos de manera continua.

Fueron utilizadas varias herramientas como mapas de procesos, diagramas de procesos, y fichas de procesos.

En la etapa de mejora de procesos se utilizó el procedimiento ocho pasos en la solución de problemas.⁽¹⁸⁾ Los ocho pasos, aplicados a problemas recurrentes o a proyectos de mejora, permiten llegar a las causas de fondo de los problemas realmente importantes, y no quedarse en atacar efectos y síntomas. Su implementación en el caso de estudio se describe a continuación:

Paso 1: Seleccionar y caracterizar un problema (Etapa Planear)

Se identificaron y estudiaron los procesos que actúan como posibles fuentes de contaminación por residuales oleosos y de interés para la investigación. Se realizó

una evaluación cualitativa y cuantitativa del desempeño ambiental de estos procesos.

Se realizó el análisis de la información de antecedentes ingenieros geológicos. Se realizó la estratificación de la zona aguas abajo de la entidad, atendiendo a los siguientes criterios: fuente de origen de la contaminación, características del cuerpo receptor y del manto freático y existencia de otras entidades que dispongan aguas residuales potencialmente contaminadas con hidrocarburos.

Se realizó la caracterización de las aguas residuales dispuestas por la entidad y la caracterización de los cuerpos receptores (aguas superficiales, sedimentos/suelos y aguas subterráneas).

Para la caracterización de la calidad ambiental de los cuerpos receptores (cañadas) fue determinado el contenido de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) a las aguas superficiales y a los sedimentos/suelos.

Se identificaron no conformidades teniendo en cuenta la legislación y normativas ambientales vigentes aplicables a los residuales líquidos, incluidas las normas de vertimiento: Norma Cubana NC 27: 2012 “Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones”.⁽¹⁹⁾

Para la matriz sedimentos/suelos los valores obtenidos fueron contrastados con la Norma Mexicana nom-138-SEMARNAT/SSA1-2012.⁽²⁰⁾

También se le determinó el contenido de Grasas y Aceites (GyA) y de HTP a las aguas de 6 pozos ubicados en una red de muestreo aguas arriba, abajo y dentro de la entidad, a raíz de los resultados de investigaciones precedentes.^(16,21)

Los valores obtenidos fueron contrastados con la Norma Cubana NC 1021:2014 “Fuentes de abastecimiento de agua-Calidad y protección sanitaria”.⁽²²⁾

Se realizó el diagnóstico ambiental y tecnológico del manejo de los residuales oleosos, teniendo en cuentas criterios utilizados en la literatura especializada^(15,23,24,25,26,27,28,29,30,31) Asimismo, fueron consideradas las recomendaciones técnicas para la inspección de los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales (STR) propuestas por Terry *et al.* ⁽¹³⁾. Para

los separadores gravitatorios de hidrocarburo-agua se tuvieron en cuentas los criterios del Instituto Americano del Petróleo ⁽³²⁾ y de Awais y Mukhtar. ⁽³³⁾

Paso 2: Buscar todas las posibles causas (Etapa Planear)

Se identificaron las causas probables del deficiente manejo de las aguas residuales a juicio de los integrantes del equipo de investigadores. Fueron considerados los criterios cualitativos y cuantitativos de los estudios técnicos detallados en el Paso 1.

Se utilizó el diagrama de causa-efecto o de Ishikawa, un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. Se elaboró un diagrama del tipo 6 M, que consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6 M): métodos de trabajo, Mano de obra, Materiales (Residuales), Maquinarias (Tecnologías), Mediciones y Medio Ambiente. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad y de la calidad de la salida del proceso. ⁽¹⁸⁾

Paso 3: Investigar cuáles de las causas son más importantes (Etapa Planear)

Se utilizó la herramienta de Análisis de Modo y Efecto de las Fallas (AMEF), propuesta por Gutiérrez y De La Vara. ⁽¹⁸⁾

Paso 4: Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes (Etapa Planear)

Se elaboró un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes, según la propuesta de Gutiérrez y De La Vara. ⁽¹⁸⁾

Pasos 5, 6, 7 y 8: Ejecutar las medidas remedio (Etapa Hacer), Revisar los resultados obtenidos (Etapa Verificar), Prevenir la recurrencia y Concluir y evaluar lo hecho (Etapa Actuar)

Los siguientes cuatro pasos (Ejecutar las medidas remedio, Revisar los resultados obtenidos, Prevenir la recurrencia y Concluir y evaluar lo hecho) se propusieron a los decisores; quienes introducen el plan de medidas, en el marco del sistema de gestión de la entidad; en correspondencia con los resultados de la investigación, las prioridades y la disponibilidad de recursos materiales y financieros.

Resultados y discusión

Paso 1: Seleccionar y caracterizar un problema (Etapa Planear)

La agrupación de procesos de la organización es la siguiente:

- Procesos Estratégicos (E):
 - Gestión por la Dirección.
 - Medición, Análisis y Mejora.
 - Satisfacción del Cliente.

- Procesos Operativos o Claves (O):
 - Comercialización de Combustibles Líquidos.
 - Recepción, Almacenamiento y Entrega de Combustibles Líquidos.
 - Transporte.

- Procesos de Apoyo (A):
 - Mantenimiento.
 - Capital Humano.

- Compras y Evaluación de Proveedores.

Como resultado del estudio se determinó que los procesos Recepción, Almacenamiento y Entrega de Combustibles; Mantenimiento; Transporte; así como Medición, Análisis y Mejora se identificaron las oportunidades de minimización de la contaminación en las fuentes de origen, de reducción del consumo de materias primas e insumos. Asimismo, de mejoras en el diseño de ingeniería y/o construcción de los sistemas de tratamiento, órganos, interconexiones y redes; así como de mejoras en las prácticas de operación y mantenimiento.

En los anteriores cuatro procesos se concentran los aspectos ambientales más impactantes, resultado que es compatible con investigaciones precedentes.⁽³⁴⁾

Interrelacionado con los procesos anteriores está el sistema de tratamiento de residuales (STR). El mismo está conformado por los siguientes órganos de tratamiento: ^(16,21,35)

- Un separador físico hidrocarburo-agua tipo API, que recibe el residual industrial (drenaje de los tanques de almacenamiento).
- Una laguna colectora, que recibe aguas residuales y drenaje pluvial (cargadero de ferrocarril, cargadero de camiones y planta de fregado).
- Una trampa de grasa en la planta de fregado.

El monitoreo ambiental arrojó los siguientes resultados:

- Las concentraciones de DBO₅ y DQO del efluente de salida del separador API fueron del orden de 70,00 y 192,00 mg/L, superando los LMPP establecidos en la NC 27: 2012. ⁽¹⁹⁾ La relación DBO₅/DQO es 0,36, inferior a 0,50, es indicativo de la presencia de sustancias tóxicas que retardan o inhiben la biodegradabilidad (metales pesados, etc.).

- Las concentraciones de DBO₅ y DQO de las aguas residuales dispuestas por la entidad, compuestas por las aguas residuales efluentes del separador API y de la laguna, fueron del orden de los 45,00 y 156,00 mg/L respectivamente, superando los LMPP establecidos en la NC 27: 2012.⁽¹⁹⁾ La relación DBO₅/DQO de 0,29 es indicativo de baja biodegradabilidad.
- Las concentraciones de HTP en las aguas superficiales (cuerpos receptores) fueron del orden de 2,11 y 1,43 mg/L. Los niveles de HTP en los suelos y sedimentos (cuerpos receptores) fueron del orden de 2,14 y 4,30 mg/g.
- Las concentraciones de GyA en las aguas subterráneas de los pozos investigados superan en uno de los casos hasta en más de 6 veces el límite máximo permisible establecido en la Norma Cubana NC 1021:2014.⁽²²⁾ Se constató presencia de HTP en las aguas de 4 pozos aledaños a la entidad, del orden de 1.05 a 2.50 mg/L. En particular en el pozo de agua industrial ubicado en el área de operaciones (Casa de Bombas) las concentraciones de HTP fueron muy altas, del orden de 83900 mg/L.

Los resultados anteriores confirmaron incidencia de las operaciones y el manejo de los residuales oleosos sobre la contaminación de los cuerpos receptores (aguas superficiales y subterráneas, suelos y sedimentos) y del manto freático con hidrocarburos; debido a vertimientos y escurrimientos superficiales de aguas residuales y pluviales contaminadas con hidrocarburos, y su infiltración. Los resultados corroboran los estudios precedentes.^(16,21)

Se verificaron deficiencias técnicas organizativas en el manejo de las aguas residuales. Asimismo, se identificaron deficiencias en el diseño de ingeniería y/o construcción de los sistemas de tratamiento, órganos, interconexiones y redes; mal estado técnico de redes y órganos de tratamiento (trampas de grasa, laguna y separador API); malas prácticas de operación y mantenimiento; derrames e indisciplinas tecnológicas; y no segregación de las aguas pluviales.

Paso 2: Buscar todas las posibles causas (Etapa Planear)

En el diagrama Causa y Efecto de la figura 1 se relacionaron el problema de la contaminación por hidrocarburos con las causas potenciales que lo generaron, agrupadas en las 6 M.

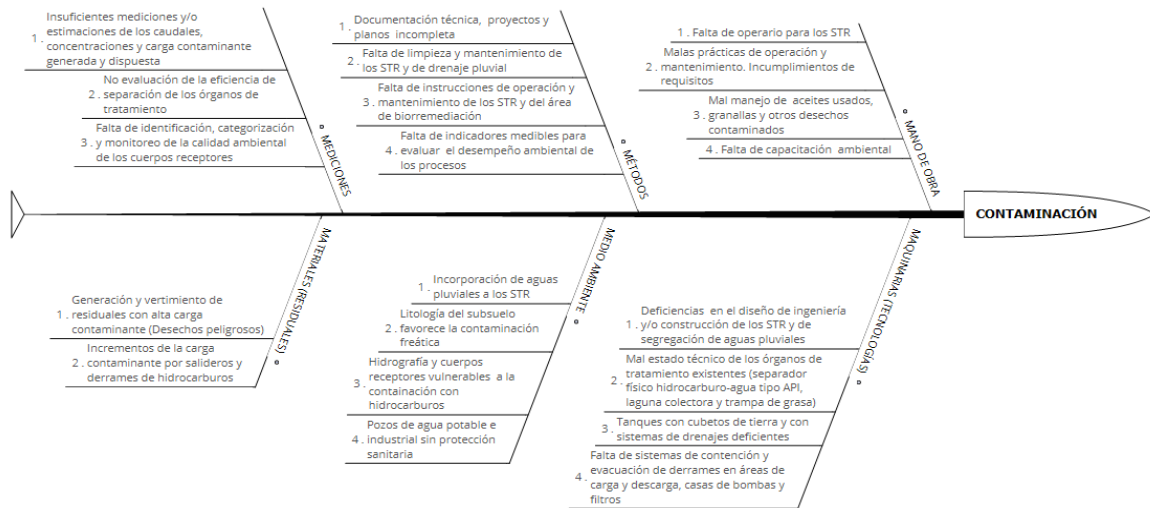


Fig. 1-Diagrama Causa y Efecto 6 M (Fuente: Elaboración propia, utilizando XMind 8)

Se confirmó que la aportación individual de los seis elementos fue sustancial, y que la sinergia entre ellos contribuyó a profundizar las brechas y el problema ambiental.

Paso 3: Investigar cuáles de las causas son más importantes (Etapa Planear)

A partir del análisis de los criterios cualitativos y cuantitativos de los estudios técnicos detallados en los Pasos 1 y 2, y a juicio de los investigadores, se identificaron los principales modos de fallos y sus efectos; y se estableció el orden de prioridad de las causas principales, según el número de prioridad de riesgos.

Los principales modos-efectos potenciales de las fallas fueron:

- Medidas técnicas organizativas insuficientes en las operaciones, y el manejo de los residuales oleosos- Contaminación por hidrocarburos.
- Operaciones inadecuadas- Contaminación por hidrocarburos.

- Funcionamiento deficiente de los STR- Contaminación por hidrocarburos.

Las principales causas fueron asociadas a incumplimientos de requisitos establecidos en procedimientos, en disposiciones legales, y en normas técnicas aplicables; a las operaciones; al manejo de los residuales; y al funcionamiento de los STR.

Paso 4: Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes (Etapa Planear)

Se propuso un plan de medidas correctivas, con alcance de ideas conceptuales, teniendo en cuenta opciones de Producción Más Limpia, para minimizar en las fuentes de origen la generación de la contaminación por residuales oleosos. Contiene medidas técnico-organizativas y soluciones ingenieras. La ejecución de varias de las medidas requiere de coherencia y continuidad debido a la interacción que presentan.

Este plan es pertinente con la política ambiental cubana ^(2,3,4) y tuvo como objetivo prevenir, reducir y controlar la contaminación provocada por el manejo los residuales oleosos. La meta principal es disminuir la contaminación como vía para mejorar la calidad ambiental del aire, los suelos y el agua.

Conclusiones

1. En los procesos de Recepción, Almacenamiento y Entrega de Combustibles; Mantenimiento; Transporte; así como Medición, Análisis y Mejora se identificaron las oportunidades de minimización de la contaminación en las fuentes de origen, de reducción del consumo de materias primas e insumos. Asimismo, de mejoras en el diseño de ingeniería y/o construcción de los sistemas de tratamiento, órganos, interconexiones y redes; así como de mejoras en las prácticas de operación y mantenimiento.
2. Las operaciones y el manejo de los residuales oleosos en la empresa comercializadora de combustibles constituyen aspectos ambientales

potencialmente impactantes; en particular sobre la contaminación ambiental de los cuerpos receptores (aguas superficiales y subterráneas, y suelos).

3. Se propuso e implementa, a través del proceso estratégico de mejora del sistema de gestión, un plan de medidas correctivas, con soluciones técnico organizativas e ingenieras, teniendo en cuenta opciones de Producción Más Limpia, para minimizar en las fuentes de origen la generación de la contaminación por residuales oleosos. Estas contribuyen a mejorar el desempeño ambiental de la organización.

Agradecimientos

Los autores agradecen las contribuciones de los directivos, especialistas y operarios de la Empresa Comercializadora de Combustibles.

Referencias bibliográficas

1. UNITED NATIONS ORGANIZATION. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/01*[en línea].United Nations Organization (UNO). 2015, pp 40. [Consultado 23 de enero de 2018]. Disponible en: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
2. MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2030*[en línea]. La Habana, Cuba: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), 2021. [Consultado 13 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional>
3. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. *La Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista y los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2016-*

2021 [en línea]. La Habana, Cuba: Partido Comunista de Cuba (PCC), 2017. [Consultado 23 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.granma.cu/file/pdf/gaceta/%C3%BAltimo%20PDF%2032.pdf>

4. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. *La Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista y los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026* [en línea]. La Habana, Cuba: Partido Comunista de Cuba (PCC), 2021.[Consultado 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.presidencia.gob.cu/media/filer/public/2021/06/18/conceptos_lineamientos.pdf

5. CONSEJO DE MINISTROS DE LA REPÚBLICA DE CUBA. *Decreto No. 281/2007 “Reglamento para la implantación y consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal”*. La Habana, Cuba: Consejo de Ministros de la República de Cuba (CM). Gaceta Oficial de la República de Cuba, No. 41, Extraordinaria del 17 de agosto de 2007.

6. CONSEJO DE MINISTROS DE LA REPÚBLICA DE CUBA. *Decreto No. 335/2017 “Del Sistema Empresarial Estatal Cubano”*. La Habana, Cuba: Consejo de Ministros de la República de Cuba (CM). Gaceta Oficial de la República de Cuba, No. 58, Extraordinaria del 13 de diciembre de 2017.

7. CONSEJO DE ESTADO DE LA REPÚBLICA DE CUBA. *Decreto Ley No. 34/2021 “Del Sistema Empresarial Estatal Cubano”*. La Habana, Cuba: Consejo de Estado de la República de Cuba (CE). Gaceta Oficial de la República de Cuba, No. 51, Ordinaria de 7 de mayo de 2021.

8. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Quality management systems - Requirements. (ISO 9001: 2015). International Standard*. Ginebra, Suiza: International Standard Organization (ISO), 2015.

9. INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (IPIECA). *Guidelines for the minimization and management of waste from oil spills, 12*. London, Reino Unido: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), 2004, pp

24. [Consultado 5 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.cleancaribbean.org/download_pdf.cfm?cF=IPIECA%20Oil%20Spill%20Report%20Series%20\(Spanish\)&fN=Vol_12_WasteManagemt_SP_623.27KB.pdf](http://www.cleancaribbean.org/download_pdf.cfm?cF=IPIECA%20Oil%20Spill%20Report%20Series%20(Spanish)&fN=Vol_12_WasteManagemt_SP_623.27KB.pdf)
10. THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED (ITOPF). *Effects of oil pollution on the marine environment*. United Kingdom: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF), 2011, pp 12. [Consultado 5 de mayo de 2012]. Disponible en: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-13-effects-of-oil-pollution-on-the-marine-environment/>
11. THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED (ITOPF). *Disposal of oil and debris*. United Kingdom: *The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF)*, 2011, pp 12. [Consultado 5 de mayo de 2012]. Disponible en: https://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/uki/Knowledge_Base_International_Conventions/TIP%209%20Disposal%20of%20Oil%20and%20Debris.pdf
12. COCĂRTĂ, Diana Mariana, STOIAN, Mihaela Alexandra y KARADEMIR, Aykan. Crude Oil Contaminated Sites: Evaluation by Using Risk Assessment Approach. *Sustainability*[en línea]. 2017, 9(8), 1365 [Consultado 15 de diciembre de 2017]. ISSN 2071-1050. Disponible en: www.mdpi.com/journal/sustainability/doi:10.3390/su9081365
13. TERRY, C. C., GUTIÉRREZ, J., ABÓ, M. *Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental*. 1ra ed. La Habana, Cuba: Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), 2010, [Consultado 14 de diciembre de 2014]. ISBN: 978-959-287-023-9. Disponible en: http://www.proyesc.cu/informes/Manejos_Aguas_residuales.pdf
14. GARCÍA, J. M., GUTIÉRREZ, J. B. *La gestión de cuencas hidrográficas en Cuba*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2016, ISBN 978-959-300-114-4.
15. GUTIÉRREZ, O., ALOMÁ, R. M, CASTRO, D. J. *Manejo de las aguas*

- residuales en el sector empresarial de Cienfuegos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [en línea]. 2021, XLII (2), 39-51. [Consultado 1 de junio de 2021]. ISSN 1815-591X. Disponible en: <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/download/540/451>
16. CASTRO, D. J, GUTIÉRREZ, O, BERMÚDEZ, J. POMA, J. R., LÓPEZ, B., DEMICHELA, M. *Oily industry impacts on the environmental vulnerability of the territories: case of Fuel Commercializing Company of Villa Clara, Cuba*. In: Siti Contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento. Italia: Edizioni CSISA, 2020. [Consultado 8 de diciembre de 2020]. ISBN: 88-7850-023-2 Disponible en: <https://iris.polito.it/handle/11583/2869972>
17. BELTRÁN, J., CARMONA, M. A., CARRASCO, R., RIVAS, M. A., TEJEDOR F. *Guía para una gestión basada en procesos* [en línea]. Sevilla, España: Instituto Andaluz de Tecnología, 2009.[Consultado 27 de junio de 2014]. Disponible en: https://www.euskadi.eus/web01-s2ing/es/contenidos/informacion/bibl_digital/es_documento/adjuntos/Guia%20para%20una%20gestion-basada-procesos.pdf
18. GUTIÉRREZ, H., DE LA VARA, R. *Control estadístico de calidad y seis sigma*, [en línea]. 3ra ed. México D.F.: Mc Graw Hill, 2013, ISBN: 978-607-15-0929-1. [Consultado 27 de junio de 2014]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Humberto_Gutierrez_Pulido/publication/278678991_2013ControlEy6Sigma3EdResumen2/links/55833af608aefa35fe30b889/2013ControlEy6Sigma3EdResumen2.pdf
19. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones. (NC 27: 2012)*. Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2012.
- 20 SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación [en línea]. (nom-138-SEMARNAT/SSA1-*

2012). Norma Mexicana. México. DF: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012. [Consultado 22 de diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6646/1/nom-138-semarnat.ssa1-2012.pdf> en julio de 2014.

21. CASTRO, D. J, GUTIÉRREZ, O, BERMÚDEZ, J., POMA, J. R., DEMICHELA, M. *Environmental monitoring in a Cuban oil storage plant to characterize the hydrocarbons pollution exposure in the fence-line community*. In: Proceedings of the 31th European Safety and Reliability Conference. Edited by Bruno Castanier, Marko Cepin, David Bigaud and Christophe Berenguer, 2021. Published by Research Publishing, Singapore. [Consultado 24 de septiembre de 2021]. ISBN: 981-973-0000-00-0. Disponible en: <https://easychair.org/smart-program/ESREL2021/2021-09-22.html#talk:177379>, doi:10.3850/981-973-0000-00-0-esrel2021-paper.

22. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. (NC 1021: 2014)*. Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2014.

23. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Requisitos generales para la protección de las aguas superficiales y subterráneas de la contaminación por petróleo y sus derivados. (NC 93-01-210: 1987)*. Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 1987.

24. MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. *Metodología para la ejecución de diagnósticos ambientales*. La Habana, Cuba: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), 2012. Documento técnico, Inédito.

25. GARCÍA, J. M., GUTIÉRREZ, J. B. Gestión de cargas contaminantes en corrientes superficiales aplicando la Norma Cubana NC-27:2012. *Voluntad Hidráulica*[en línea]. 2016, 115, 19-33. [Consultado 18 de diciembre de 2016] ISSN 0505-9461. Disponible en: <https://www.hidro.gob.cu/sites/default/files/INRH/Publicaciones/Rev-115-INRH%202016.pdf>.

26. GUTIÉRREZ, J. B.; GARCÍA, J. M. *Guía técnica para la evaluación de la carga contaminante afluyente a las aguas terrestres*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). 201. Documento técnico, Inédito.
27. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de Petróleo y sus Derivados. (NC 819: 2017)*. Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2017.
28. CASTRO, D. J., GUTIÉRREZ, O., BERMÚDEZ, J., POMA J. R. Auditoría del manejo de residuos oleosos en un grupo electrógeno de diésel. *Tecnología Química* [en línea]. 2020, 40(2), 241-259. [Consultado: 3 de febrero de 2021]. ISSN 2224-6185. Disponible en: <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/5146>
29. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Gestión ambiental - evaluación ambiental de sitios y organizaciones. (ISO 14015:2001)*. *International Standard*. Ginebra, Suiza: International Standard Organization (ISO), 2001.
30. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Environmental management- Environmental performance evaluation – Guidelines. (ISO 14031:2013)*. *International Standard*. Ginebra, Suiza: International Standard Organization (ISO), 2013.
31. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Guidelines for auditing management systems. (ISO 19011:2018)*. *International Standard*. Ginebra, Suiza: International Standard Organization (ISO). 2018.
32. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *Monographs on Refinery Environmental Control-Management of Water Discharges Design and Operation of Oil-Water Separators* [en línea]. Washington, D.C., USA: API Publishing, 1990, [Consultado 8 de septiembre de 2016]. ISBN: 978-9992927410. Disponible en: <https://p2infohouse.org/ref/39/38606.pdf>
33. AWAIS, M., SHAFIQ, U., MUKHTAR, A., MEHMOOD, M. Design of Industrial Gravity Type Separators for the Hydrocarbons and Heavy Oil-Water

Separations. *Research Journal of Chemical Sciences* [en línea]. 2015, 5 (9), 72-75. [Consultado 8 de septiembre de 2016]. ISSN: 2231-606X. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/282326383>

34. SÁNCHEZ, D., JO, S., MARRERO, M. *Diagnóstico Ambiental de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Villa Clara*. Santa Clara, Cuba: Empresa Geominera del Centro, 2012. Documento técnico, Inédito.

35. RÍOS, L. M., MARTÍN, J., BUSTO, Y., JIMÉNEZ, Y. *Estudio de factibilidad económica de la planta de tratamiento de residuales de ECCVC*. Santa Clara, Cuba: Centro de Estudio de Química Aplicada, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2013. Documento técnico, Inédito.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Omar Gutiérrez Benítez: actualizó el estado del arte y elaboró el protocolo de la investigación. Participó en la implementación del protocolo de la investigación. Realizó el análisis causal y elaboró el plan de medidas. Concibió, escribió y corrigió el manuscrito del artículo.

David Javier Castro Rodríguez: capacitó a los investigadores en el procedimiento de los ocho pasos para la solución de un problema. Participó en la elaboración e implementación del protocolo de la investigación. Participó en el análisis causal y en la elaboración del plan de medidas. Realizó la oponencia al manuscrito del artículo.

José Reynol Poma Rodríguez: participó en la implementación del protocolo de la investigación. Participó en el análisis causal y en la elaboración del plan de medidas.

Hortensia Pérez Valdés: participó en la implementación del protocolo de la

investigación. Participó en el análisis causal y en la elaboración del plan de medidas. Realizó la revisión del manuscrito del artículo.

María Magdalena Rodríguez Sánchez: participó en la implementación del protocolo de la investigación. Participó en el análisis causal y en la elaboración del plan de medidas. Realizó la revisión del manuscrito del artículo.