



Gerencia de instituciones de salud y Gestión ambiental

Volumen 1

MARTHA LUCÍA TORRES OLAYA
JORGE ARLEY RAMÍREZ CÁRDENAS
JAIRO EMILIO MEJÍA ARGÜELLO

Editores



Gerencia de instituciones de salud y Gestión ambiental Volumen 1

•

Martha Lucía Torres Olaya
Jorge Arley Ramírez Cárdenas
Jairo Emilio Mejía Argüello

Editores

Serie Investigación en Posgrados

Torres Olaya, Martha Lucía, Ramírez Cárdenas, Jorge Arley y Mejía Argüello, Jairo Emilio eds.

Gerencia de instituciones de salud y Gestión Ambiental / Martha Lucía Torres Olaya, Jorge Arley Ramírez Cárdenas y Jairo Emilio Mejía Argüello eds. -- Bogotá: Fundación Universitaria del Área Andina, 2013.

171 p.: -- (Investigación en Posgrados) (Gerencia de instituciones de salud y Gestión ambiental, vol. 1)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN: 978-958-8494-71-5

1. Investigación. 2. Gestión ambiental. 3. Gerencia en Salud.

DEWEY: 001.42

Departamento de Biblioteca. Fundación Universitaria del Área Andina.

© Fundación Universitaria del Área Andina

1ª. edición: 2013

© Martha Lucía Torres Olaya, Jorge Arley Ramírez Cárdenas y Jairo Emilio Mejía Argüello

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra y su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin autorización escrita de la Fundación Universitaria del Área Andina y sus autores.

Director de Proyecto: **Rafael Molina Béjar**

Coordinación editorial: **Rosa Fermina García Cossio**

Corrección de estilo: **Leonardo Ariel Escobar Barrios**

Diseño gráfico: **www.editoria.co**

Diagramación: **Nathalia Rodríguez G.**

Jefatura de Publicaciones

Fundación Universitaria del Área Andina

Calle 71 No. 13-21, Bogotá, D.C., Colombia

Teléfono: (57-1) 346 6600 ext. 150

E-mail: publicaciones@areandina.edu.co

www.areandina.edu.co

CONTENIDO

Gerencia de instituciones de salud y Gestión ambiental
Volumen 1

6 Prólogo

Primera parte

9 **GERENCIA DE INSTITUCIONES DE SALUD**

10 Implementación del Cuadro de Mando Integral
en administración en salud

Nelson Alonso Flórez, Gladys Martínez Urrego, Henry Infante

34 Relación costo-efectividad de los programas
de promoción y prevención en salud
y en los tratamientos de prediálisis

Juan Carlos Angarita Santos

Segunda parte

51

GESTIÓN AMBIENTAL

52

Manejo de lixiviados en América Latina

Claudia Romero Buitrago, Mauricio Orjuela Manrique

76

Disposición y manejo de residuos y riesgos biológicos intrahospitalarios en Colombia y su impacto en el medio ambiente

Sandra Patricia Ovalle Hernández, Sonia Mabel Pachón Robayo, Sandra Patricia Veloza Herrera

96

Acciones realizadas en la mitigación de la emergencia invernal por la Gobernación de Cundinamarca, año 2010-2011

Patricia Barazeta Ávila, Nancy Montealegre Castillo

112

Importancia de la biorremediación para mejorar las condiciones del suelo afectado con derrames de hidrocarburos y el medio ambiente en Colombia del 2002 al 2012

Guiomar Villareal Torres, Javier Díaz Casagua

138

El futuro de los tratamientos ambientales: biotecnología vs políticas

Susan Carolina Robles Vargas, Orlando Pinzón Quintero

150

Manejo, transporte y disposición final de los residuos hospitalarios en los países de habla hispana entre los años de 1996 a 2012

Lady Mariana Rico Malagón, Esmeralda Lucrecia Romero Layton

Prólogo

Por primera vez en la Fundación Universitaria del Área Andina se presentan artículos de revisión reunidos en un solo documento como producto del esfuerzo profesional, académico y personal de los estudiantes, docentes y personal administrativo de la Escuela de Posgrados.

Aquellos estudiantes que aceptaron el desafío de acometer una revisión documental como opción de grado, presentan en el presente documento sus manuscritos. La decisión de ejecutar este tipo de trabajo exigió sacrificios, así como retos que en ocasiones hacían tambalear la continuidad del proyecto. Sin embargo, el resultado obtenido no sólo consistió en el texto propiamente dicho, sino que arrojó también la satisfacción de haber culminado apropiadamente el requisito académico.

Simultáneamente los docentes comprometieron lo mejor de sus capacidades y destrezas para acompañar el proceso investigativo y estimularon en los estudiantes las habilidades requeridas para buscar información, sistematizarla, analizarla y sintetizarla.

El personal administrativo a su vez contribuyó con su aporte a mantener firme el complicado entramado académico-administrativo para que todas las cosas se fueran dando hasta conseguir un feliz término.

Puntualmente este texto aborda las temáticas de la Gestión Ambiental y de la Gerencia en Salud. Para el primer eje temático la preocupación de los autores giró en buena medida alrededor del manejo de residuos. Comprensiblemente por su formación primaria como profesionales de la salud, las revisiones consideran los aspectos del manejo de residuos hospitalarios y biológicos, que a su vez impactan en la potencialidad de ocasionar eventos epidemiológicos.

En Colombia se ha carecido de apropiaciones responsables en el manejo de todo tipo de desechos y no sobra la observación de experiencias de otros países latinoamericanos para evaluar prácticas que pueden contribuir al mejoramiento de este manejo ambiental.

La producción académica incremental en este este novedoso campo disciplinar deberá desembocar en un entorno vivencial más equilibrado y sostenible que aquél en el cual se palpan los efectos depredadores del ser humano. Al conocer técnicas como la biorremediación que aportan a reducir los daños ambientales, que la necesaria, pero en ocasiones, perjudicial explotación minera ocasionan sobre los ecosistemas.

Tal vez no sería aventurado manifestar que el manejo ambiental profesional será el responsable en gran medida de asegurar la futura supervivencia humana.

En fin de cuentas, este proyecto editorial es un camino que se inicia para estimular a los estudiantes visibilizando su trabajo, de la misma manera para difundir los productos de la formación especializada que se imparte en la Fundación y para construir los cimientos de aspiraciones más ambiciosas que a su vez retroalimenten el mejoramiento continuo de los programas por la vía de la formación investigativa.

1

Gerencia de instituciones de salud

Implementación del Cuadro de Mando Integral en administración en salud

Implementing the Balanced Scorecard in Health Administration

Nelson Alonso Flórez

*Especialista en Auditoría en Servicios de Salud.
Fundación Universitaria del Área Andina. nealonso360@gmail.com*

Gladys Martínez Urrego

*Especialista en Auditoría en Servicios de Salud.
Fundación Universitaria del Área Andina. glamarty@hotmail.com*

Henry Infante

*Especialista en Auditoría en Servicios de Salud.
Fundación Universitaria del Área Andina. hinfantes19_86@hotmail.com*

RESUMEN

Las empresas del área de la salud, así como las demás empresas sin ánimo de lucro cada día se interesan más por la medición de la gestión en el interior de sus organizaciones, tal como

lo manifiestan Kaplan y Norton (2001), empleando para ello diversos instrumentos de evaluación de la gestión entre ellos el Cuadro de Mando Integral (CMI), herramienta que permite evaluar desde

diferentes perspectivas los avances en materia de gestión exitosa.

Esta investigación de tipo descriptivo se elaboró con el fin de documentar experiencias exitosas a partir de revisión de literatura en cuanto al manejo del Cuadro de Mando Integral empleado en la medición de la gestión

sobre la base de algunas experiencias registradas en los Hospitales de Chile, Argentina, Perú y el caso concreto de la Fundación Hospital de la Misericordia en Bogotá (Colombia) como instrumento clave para el mejoramiento del desempeño y rendimiento de los recursos hospitalarios.

Palabras clave: Cuadro de Mando Integral, administración en salud, medición de la gestión en salud.

ABSTRACT

Companies in the area of health and other non-profit companies every day are more interested in measuring management within their organizations as manifested Kaplan and Norton (2001), employing various management tools management for the evaluation, including the Balanced Scorecard (BSC) as a tool to evaluate different perspectives and advances in successful management.

This descriptive research was developed to document the individuals re-

sponsible for the senior management of hospitals and related organizations interested in performance measurement who be based on successful experiences in implementing the Balanced Scorecard in hospitals in Chile, Argentina, Peru and the specific case of the Foundation Hospital de la Misericordia in Bogota - Colombia, as a key to improving the performance and efficiency of hospital resources.

Key Words: Balanced Scorecard, health administration, performance measurement in health.

Introducción

En el mundo de hoy las empresas exitosas de diversos sectores se han propuesto medir el desempeño a partir de diferentes mecanismos dentro de los cuales se encuentra el Cuadro de Mando Integral (CMI), herramienta que ha favorecido en gran medida la gestión de varias organizaciones a nivel mundial en diversos sectores que se mencionaran a continuación, tales como el sector educativo. Tal es el caso de Panamá, que toma como ejes dimensionales las acciones de planificación, el desarrollo y las actividades psicopedagógicas del desempeño laboral (Tejedor y Huerta, 2009).

Otro caso de gestión del conocimiento se da en la Universidad Tecnológica de Pereira en Colombia, en donde se realizó un Cuadro de Mando Integral para medir la gestión de la Facultad de Ingeniería Industrial (Castaño, Arias y Lanzas, 2006).

En el sector minero, en Chile, se realizó un Cuadro de Mando Integral que satisface las necesidades de gestión de la industria minera, para ello se empleó un programa computacional llamado Balanced Scorecard Designer, un programa con una licencia gratuita durante 30 días con el que se ha mejorado la implementación en la organización de esta herramienta de medición de la gestión (Zúñiga, Pérez y Vargas, 2011).

De igual manera, el sector salud incursionó en la implementación del Cuadro de Mando Integral, pues este tipo de organizaciones se preocupan no sólo por el resultado de la calidad de los servicios que ofrece a la comunidad, sino que además enfrentan un reto aún más complejo, la optimización de los recursos económicos, en especial las organizaciones hospitalarias públicas en donde la medición del rendimiento depende de múltiples factores, tanto financieros como de explotación, en los cuales se les obliga a emplear la planeación estratégica a fin de cumplir con los objetivos propuestos, minimizando costos y optimizando los recursos de los que se disponen.

El empleo del Cuadro de Mando Integral en las organizaciones hospitalarias es cada día más concreto, así lo demuestran los estudios realizados en el área de diagnóstico con la aplicación del Cuadro de Mando Integral en el laboratorio clínico (Benítez, Martín y Torra, 2008), otros estudios muestran claramente las mejoras en los indicadores de proceso en la aplicación del Cuadro de Mando Integral en el laboratorio (Salinas, Pardo y Uris, 2009).

De este empleo cada vez más asiduo de las organizaciones sanitarias del Cuadro de Mando Integral dan cuenta los múltiples beneficios que se derivan de su implementación, ejemplo de estas instituciones son el Duke's Children Hospital con el uso del CMI lograron el consenso entre lo financiero y la gestión de la calidad, dos variables difíciles de fusionar en la mayoría de las entidades hospitalarias. En el Hospital Regional de Rancagua, el CMI permitió conocer de manera rápida las desviaciones en las metas propuestas. En el Hospital de Garrahan, en Buenos Aires, el CMI logró resultados muy satisfactorios en el clima laboral y con ello mejoró a su vez la atención de los niños y niñas de Chile.

Todos estos casos, junto con los documentados de organizaciones de sectores educativos, administrativos públicos y privados, sector minero entre otros dan cuenta de medidas de mejora, ya que el CMI permite no sólo llevar las riendas de la organización, sino que además insta en cada uno de los protagonistas la cultura de la gestión por resultados, términos muy comunes en otros sectores de alto rendimiento socioeconómico.

Para realizar esta revisión se tuvo en cuenta la búsqueda sistemática realizada a partir de las bases de datos Proquest, Scielo, Science Direct, Google Académico, Redalyc, luego de una detallada revisión de los contenidos de los artículos que cumplieran con los criterios de inclusión para este caso, empleo del Cuadro de Mando Integral o Balanced Score Card por sus siglas en inglés en las organizaciones, se tomaron en cuenta únicamente aquellos que mostraban el CMI como herramienta de gestión y que mostraban resultados a la fecha de consulta.

Es así como de una investigación con 86 artículos relacionados con el tema se tomaron en cuenta 33 de ellos que cumplieron con los criterios de inclusión como base para la elaboración del presente documento.

Cuadro de Mando integral en la administración de empresas

La alta gerencia de las empresas preocupadas por las falencias de los sistemas convencionales de medición del rendimiento, ha suprimido el empleo de las medidas financieras y los beneficios por acción, ya que encuentran en

ellas deficiencias que no permiten tener una visión clara sobre las estrategias a seguir ante las fallas que afectan el presente y futuro de la empresa.

Por otra parte cabe precisar que el concepto ha evolucionado mucho desde su primera formulación en 1992 cuando se definía como: “un conjunto de indicadores que proporcionan a la alta dirección una visión comprensiva del negocio” para ser “una herramienta de gestión que traduce la estrategia de la empresa en un conjunto coherente de indicadores”. Así, existe una relación íntima entre la estrategia de la empresa y el CMI, puesto que este “conjunto coherente de indicadores” está anclado en los objetivos estratégicos de la empresa (Dávila, 1999, pp. 35-36).

Durante los años subsiguientes a la introducción del Balanced Scorecard sus promotores se dedicaron a refinar el sistema de gestión estratégica en donde mediante publicaciones como *The Strategy – Focused Organization* (La Organización Focalizada en la Estrategia – Cómo implementar el Balanced Scorecard), cimentado sobre la base de cinco principios de gestión:

1. Movilizar el cambio a través del liderazgo ejecutivo
2. Traducir la estrategia en términos operacionales
3. Alinear la organización con la estrategia
4. Motivar para que la estrategia sea una tarea de todos
5. Gobernar para convertir a la estrategia en un proceso continuo

Luego de varias revisiones se traduce la estrategia en objetivos vinculados, mediante relaciones de causa y efecto, con las cuatro perspectivas del BSC: financiera, del cliente, de los procesos internos y del aprendizaje y crecimiento. Allí se alineó los procesos, la gente, la tecnología y la cultura con la propuesta de valor para el cliente y los objetivos de los accionistas (Kaplan y Norton, 2010).

Cuadro de Mando Integral en el sector salud

Según Tejedor (citado por Ruiz 2006) un centro sanitario se puede asemejar a una empresa prestadora de servicios, con la singularidad de que su producto o servicio es ofrecido en el mismo instante en que es generado. Estos servicios son el resultado de los siguientes procesos:

- a. El proceso clínico: que consiste en aplicar los conocimientos médicos al cuidado de los pacientes, es decir el diagnóstico y tratamiento.
- b. El proceso funcional: cuyo objetivo es proporcionar y generar productos y actividades intermedias que puedan ser utilizados en el proceso clínico.
- c. El proceso logístico: que pretende proporcionar servicios para acomodar al usuario y facilitar la infraestructura para la aplicación de los procesos clínicos y funcionales.

Teniendo en cuenta estas características, la elaboración de un CMI para este tipo de organizaciones, tendrá que adaptarse a estas, para lograr que la utilización de dicha herramienta sea exitosa, ya que en caso contrario, estaría abocada a su escaso uso, y por tanto a su desaparición.

Esta estrategia de medición del rendimiento puede emplearse en el área de la salud, dada la complejidad de sus procesos así como la evaluación de estos a fin de obtener con certeza un número óptimo de objetivos medibles que sean la ruta de cada una de las estrategias a seguir en las diferentes perspectivas que abarca el Cuadro de Mando Integral como herramienta para la administración en salud.

Desde el punto de vista de las condiciones en las que entidades hospitalarias se desempeñan en la intensificación de ciertas acciones tangibles e intangibles, surgen los procesos de transformación, como los planteados por sus creadores en el libro *Cómo medir el rendimiento en la empresa*, con la aseveración que “cada organización es única y por lo tanto debe seguir su propia trayectoria para crear un Cuadro de Mando Integral” (Kaplan y Norton, 2003), ya que la participación debe tener una trayectoria de competencia en el mercado local e internacional con medidas más exigentes que establecen estándares de calidad elevados.

Finalidad del Cuadro de Mando Integral

El Ministerio de la Protección Social realizó una guía de instrucción, despliegue de la estrategia, mediante el Cuadro de Mando Integral, cuyo objetivo es dar soporte a la toma de decisiones en clínicas y hospitales, resaltando los siguientes principios para la implementación del Cuadro de Mando Integral:

- **Integración:** respecto a los indicadores de varios ámbitos de recursos humanos, financieros y la información originada en diferentes subsistemas de información. Ésta facilita el cumplimiento de los estándares de apoyo del Sistema Único de Acreditación y permite lograr la integración de estos. Por ejemplo: estándares como direccionamiento, gerencia, gerencia del recurso humano, gerencia de la información, entre otros.
- **Estandarización:** es la definición y tipología de los indicadores de gestión en los criterios de gestión entre los diferentes entornos organizativos de cada unidad de negocio; así como entre las diferentes unidades dentro de la organización. Y la formulación y monitorización de objetivos de control. La herramienta permite operativizar el ciclo de mejoramiento continuo incorporando los elementos de planear, hacer, verificar y actuar de una manera dinámica llevando a la organización a niveles de calidad progresivamente en aumento.
- **Alineamiento:** los diferentes miembros de la organización con base en una estrategia criterios e información compartida. El Cuadro de Mando Integral proporciona un marco, una estructura y lenguaje para comunicar la estrategia.
 1. Utiliza las mediciones para informar a los empleados sobre causantes del éxito actual y futuro.
 2. Articula los resultados que la organización desea y los inductores de estos, con enfoque en estándares de calidad superior.
 3. Permite un equilibrio entre objetivos de corto, mediano y largo plazo. (Ministerio de la Protección Social, p. 36).

Perspectivas para implantación del Cuadro de Mando Integral en áreas de la salud

Según un estudio realizado por González, López y Gómez (2011), que recopila datos de la implementación de Cuadro de Mando Integral en las entidades del sector salud en España entre los años 1992 hasta el 2009, las perspectivas

del Cuadro de Mando Integral aplicadas al sector salud poseen objetivos específicos para este sector, tales como:

1. **Perspectiva financiera:** estas medidas de actuación financiera, indican si la estrategia de una empresa y su puesta en práctica y ejecución contribuyen a mejores resultados. Para el caso de los hospitales son objetivos financieros: el costo por paciente, facturación a terceros, etc.
2. **Perspectiva cliente:** para este caso se estima el cliente y la sociedad en los que competirá la unidad de negocio así como los objetivos de desempeño. Por consiguiente son ejemplos de objetivos los indicadores: satisfacción del cliente, número de quejas, número de demandas interpuestas tanto en clientes como en sociedad.
3. **Perspectiva del proceso interno:** en esta perspectiva se identifican los procesos críticos internos en los que la organización debe ser excelente. Las medidas de estos procesos se centran en dos pilares la satisfacción del cliente y la obtención de objetivos financieros. Ejemplos de estos objetivos son: indicadores sobre la lista de espera, índice de ocupación, estancia media ajustada a la casuística, tasas de ingresos, así como cualquier otro indicador de calidad.
4. **Perspectiva de aprendizaje y crecimiento:** las personas motivadas en sus lugares de trabajo, explotando al máximo sus competencias son la base del éxito de la organización; precisamente por esto los objetivos a cumplir son: satisfacción, retención, capacitación y habilidades de los empleados, absentismo, horas de formación por trabajador, entre otros.

Según Santos y Fidalgo al 2011, la mayoría de las entidades hospitalarias así como las demás organizaciones prestadoras de servicios tenían un entorno muy normalizado el cual no les permitía fijar precios competitivos para sus servicios como las demás empresas, esto las puso en desventaja como organización. Sin embargo la tendencia es la descentralización para

lo cual los hospitales anudan todos sus esfuerzos en la consecución de activos intangibles como valor agregado. (González, López y Gómez, 2011).

Cuadro de Mando Integral como herramienta de gestión en entidades de salud públicas y privadas

Según la Secretaría General de la Alcaldía de Bogotá (2007), la administración pública en Colombia ha demostrado grandes avances en la medición de la gestión de las empresas tanto públicas como privadas, progresos que han sido posibles gracias al control ejercido de manera legal con la constitución política de 1991 a partir de la cual se establece que se debe focalizar todos los esfuerzos hacia la generación de resultados que materialicen las expectativas de desarrollo de la nación colombiana en su riqueza social, étnica, ambiental, de género y territorial (Secretaría General de la Alcaldía de Bogotá, 2007).

Esta situación ha obligado, a la adopción de sistemas de control que permitan monitorear permanentemente el cumplimiento de las metas y objetivos de los planes de desarrollo empresarial y en el caso del sector público, a medir y monitorear si la gestión de las entidades se está realizando de forma eficiente y efectiva y al menor costo, de tal forma que cuando se detecta que tales objetivos no se están cumpliendo, se toman decisiones de ajuste que en algunos casos ha implicado incluso el cierre de entidades para implementar otros sistemas de administración y en casos extremos llega hasta el punto de la privatización de estas.

Para poder realizar tal monitoreo y seguimiento de los objetivos y metas de los planes de desarrollo, se han adoptado diferentes métodos, siendo hoy en día uno de los de mayor éxito los cuadros de mando integral, los cuales han permitido que la alta gerencia posea una visión globalizada e integral de la gestión en forma oportuna, de tal manera que se detectan a tiempo las desviaciones y se toman las medidas para corregir o prevenir situaciones irregulares en la vida y el futuro de la empresa, es decir, se monitorea el permanente cumplimiento de la misión y se garantiza que las acciones presentes permitan el cumplimiento de la visión de la empresa o entidad.

Pasos para la implantación de un Cuadro de Mando Integral

Cada organización es única y, por lo tanto, debe seguir su propio camino para crear su Cuadro de Mando Integral, a continuación se muestra un esquema típico de Kaplan y Norton para la creación de un Cuadro de Mando Integral para empresas de diversos sectores con las modificaciones que la alta gerencia de las empresas desee incorporar.

1. Preparación: como primera medida, la empresa debe definir cuál es la unidad de negocio es decir cuál es la parte de la organización que cuenta con su propia estrategia, dirección y presupuesto para la cual es apropiado un Cuadro de Mando Integral; por lo general el Cuadro de Mando Integral es adecuado para las unidades que cuentan con clientes, canales de distribución, instalaciones de producción y medidas de resultados financieros propios.
2. Entrevistas, primera ronda: toda la alta gerencia de la unidad de negocio (entre 6 y 12 ejecutivos) reciben material sobre el Cuadro de Mando Integral a fin de familiarizarse con los términos, asimismo reciben información de la empresa como la misión, visión y las estrategias de administración. Este material debe ser analizado por cada uno de los miembros y luego socializado con el impulsor del proyecto (persona externa o empleado de la alta gerencia) durante una entrevista que dura aproximadamente 90 minutos, en donde cada uno de los integrantes entregan su aporte desde su experiencia sobre los objetivos fuertes que debe tener la organización para así plantear la estrategia a seguir. En esta entrevista es aconsejable además tener el criterio de algunos de los accionistas e incluso clientes que deseen dar aportes a la organización desde su criterio externo.
3. Taller de trabajo de directivos, primera ronda: este taller tiene como finalidad llegar a un consenso entre los objetivos propuestos y las estrategias a seguir para el cumplimiento óptimo de estos. De igual manera se responden la pregunta: “Si tuviera éxito en mi misión y en mi estrategia ¿cómo cambiaría mi rendimiento para los accionistas,

los clientes, los procesos internos de la empresa y para mi capacidad de innovar, crecer y mejorar? Una vez analizada esta pregunta y definidos los factores de claves del éxito, el grupo formula un Cuadro de Mando Integral preliminar que contiene medidas de explotación para los objetivos estratégicos. Teniendo en cuenta medidas de explotación para cada perspectiva.

4. Entrevistas, segunda ronda: el impulsor revisa el material generado durante las entrevistas previas y consolida la información obtenida para dar inicio a las actividades de implantación del Cuadro de Mando Integral.
5. Taller de trabajo de directivos segunda ronda: consiste en consolidar la información desde todas las esferas del desempeño en la empresa, es así como se reúnen los ejecutivos de la alta gerencia con sus subordinados directos y un gran número de mandos intermedios, discute la visión de la organización, las declaraciones estratégicas y el Cuadro de Mando Integral provisional. En esta reunión se debe obtener el plan de implantación del Cuadro de Mando Integral.
6. Taller de trabajo de directivos tercera ronda: los altos directivos definen su estrategia definitiva con base en su misión, visión y estrategias ya socializadas por sus empleados, de esta manera establece metas exigentes para cada medida del Cuadro de Mando Integral y con ello identificar los programas de acción preliminares para lograr las metas.
7. Implantación: con la ayuda de un nuevo equipo destinado únicamente para este proceso se elabora un plan de implantación del Cuadro de Mando Integral, que comprende la vinculación de las medidas con las bases de datos y los sistemas de información, la comunicación del Cuadro de Mando Integral por toda la organización y la tarea de animar y facilitar el desarrollo de los parámetros de medida de segundo nivel para las unidades descentralizadas (Kaplan y Norton, 2003).

El desarrollo de la implementación del Cuadro de Mando Integral, es dispendioso pues se trata de empezar por involucrar a la alta gerencia en el proceso con la ayuda de un responsable que lidere las tareas de coordinación e integración del esfuerzo del equipo de la alta dirección (Dávila, 1999).

El proceso de elaboración e implantación del CMI debe descansar sobre la cadena lógica áreas críticas – factores clave – indicadores como mecanismo de articulación de las necesidades informativas de todos los niveles (Bugueño, 2003).

Casos exitosos de implementación del Cuadro de Mando Integral en entidades hospitalarias

La valoración de la gestión de manera integral en el área de la salud, se realizaba mediante la aplicación del Cuadro de Mando Integral en Norteamérica en 1997, el cual permitía el consenso entre lo financiero y la gestión de la calidad. De esto da cuenta la experiencia exitosa de Duke's Children Hospital, con la utilización del CMI como elemento de unión entre los médicos y los gestores. En Canadá para estas fechas también se mejoró el sistema de información en 89 hospitales seleccionados de la provincia de Ontario con el empleo del Cuadro de Mando Integral (Martínez, Dueñas, Miyahira y Dulanto, 2010).

Otro caso de implementación exitosa se da en los Laboratorios Clínicos en donde se integran 25 tipos de indicadores en cada perspectiva del CMI, los cuales arrojan resultados muy positivos demostrando la validez del empleo del CMI como herramienta de control de la gestión (Salinas, 2011).

En Chile se cuenta con otro ejemplo de un servicio de Pediatría del Hospital Regional Público Rancagua que desde el 2001 luego de asumir una administración por más de doce años decide implementar el Cuadro de Mando Integral lo que les permitió realizar concienzudamente análisis de la visión, misión y valores de este, aplicando estrategias de gestión modernas que permitieron un esquema directivo diferente al resto del hospital en donde después de cuatro años de implementación de ven resultados muy satisfactorios en el clima laboral y con ello la mejora de la atención a los niños y niñas de Chile (Leyva y Flamm, 2007).

Caso Hospital de Pediatría Garrahan en Buenos Aires

En Latinoamérica, se pueden mencionar experiencias exitosas como en el Hospital Público de Pediatría Garrahan en Buenos Aires, Argentina, hospital público de alta complejidad destinado a la atención de recién nacidos, niños y adolescentes (entre 0 y 15 años). Cuya inauguración se realizó el 25 de agosto de 1987, es un hospital descentralizado creado y financiado por la nación y el gobierno de la ciudad de Buenos Aires (Argentina), su organización asistencial se basa sobre cuidados progresivos, jerarquizando la actividad interdisciplinaria, coordinada por clínicos pediatras para una atención integral de cada paciente.

Este hospital desde su fundación ha mantenido un notable interés en el desarrollo de nuevas estrategias de gestión, que permitan mejorar la calidad de la atención de los pacientes y optimizar la utilización de los recursos.

La implementación del Cuadro de Mando Integral en el hospital se realizó en cada una de las áreas, en donde se evaluó la misión y la visión de todos los servicios por separado para plantear con ello las metas a cumplir y la ruta a seguir. Dentro de las áreas involucradas para la elaboración propia del Cuadro de Mando Integral se encuentran:

1. Dirección Asociada de Enfermería (D.A.E.)
2. Unidad de Cuidados Especiales Posquirúrgicos (CEP)
3. Cuidados intermedios y moderados 63
4. Cuidados intermedios moderados

Mancomunadamente con la visión del Hospital se diseñaron los objetivos e indicadores para cada una de las áreas, así mismo se describieron los procesos evaluados, los responsables de la recolección, elaboración y difusión de los datos para tal fin.

De igual manera se evaluaron aspectos como encuesta de satisfacción anual del personal, ausentismo, accidentes laborales, parámetros de calidad y efectividad (reingresos, mortalidad, evaluación de las historias clínicas, infección intrahospitalaria además de la evaluación de los procesos asistenciales) luego de evaluarlos el hospital presentó las posibles causales de tales fallas e implementó para ello las medidas correctivas del cada caso.

En cuanto a la atención ambulatoria del Hospital se tuvieron en cuenta aspectos como: número de consultas anuales, porcentaje de consultas programadas, ausentismo), para el caso del proceso quirúrgico (% de utilización: horas usadas / horas disponibles, % de suspensiones y causas) en el proceso administrativo se tomaron indicadores como: tiempo promedio transcurrido desde la solicitud hasta la recepción del insumo según centro de pedido y tipo de trámite, además del % de débito sobre lo facturado, causas de débito, etc.

La evaluación del área de satisfacción del cliente se realizó mediante encuestas de satisfacción al usuario (dada al momento del egreso) y análisis del libro de quejas.

Al realizar esta implementación del Cuadro de Mando Integral las directivas del Hospital de Garrahan concluyeron que se debe compatibilizar la calidad con el aumento de la productividad y la satisfacción de la gente y sobre todo conseguir resultados. Estos resultados deben estar en consonancia con la misión, visión, planificación estratégica y operativa del Hospital, para su elaboración se necesitó elaborar un conjunto de indicadores de gestión.

Se deben usar además del recurso cama, otros indicadores de producción empleados en el servicio al cliente como recurso humano, físico y financiero y los procesos que permiten mejorar la productividad y la percepción del usuario con respecto al Hospital, en cuanto al recurso humano y a la satisfacción del cliente se tomaron premisas indispensables como ausentismos, accidentes laborales y buzón de quejas y reclamos respectivamente.

Para el Hospital de Garrahan la elaboración de Cuadros de Mando Integral en las diferentes áreas resulta una excelente experiencia por el trabajo de reflexión y análisis previo que con su confección requiere. Actualmente se elabora para otros servicios.

Se concluye además que los indicadores no resuelven los problemas propios de cada administración pero si permiten conocer de manera rápida las desviaciones en las metas propuestas. Por otra parte la evaluación de la variabilidad intrainstitucional se constituye en una excelente herramienta de la gestión de calidad.

Caso Hospital de San José en Santiago de Chile

Caso Hospital San José, en Santiago de Chile cuyo nacimiento se remonta al siglo antepasado, se ha mencionado el año 1841 como posible inicio de actividades, sin embargo parece que a partir de 1872 entra a funcionar en forma permanente, debido a una violenta epidemia de viruela, cuando no estaba aún terminado ni menos habilitado.

Según Bugueño M., (2003) el Hospital de San José se ha caracterizado por ser el protagonista de una serie de cambios tanto físicos como estructurales, que requieren nuevas herramientas de medición de la gestión que vayan de la mano con su capacidad financiera, su normatividad vigente, su recurso humano y su capacidad tecnológica.

Para dar inicio a la implementación del Cuadro de Mando Integral se tuvo en cuenta tres áreas funcionales de las cuales depende gran parte de la gestión del Hospital de San José.

1. Área asistencial: es el área encargada de brindar atención directa al paciente, cuyos factores a medir serían:
 - a. Tasa de demanda (urgencias, especialidades ambulatorias, hospitalización).
 - b. Cobertura de servicio en cada especialidad.
 - c. Producción (atenciones realizadas, consultas, egresos).
 - d. Calidad o eficacia técnica asistencial.
 - e. Efectividad o grado de cumplimiento de los objetivos.
 - f. Impactos o resultados en salud.

2. Área de apoyo técnico: Presta apoyo de diagnóstico terapéutico al área operativa – asistencial. Los factores a considerar serían:
 - a. Tasa de demanda interna y por interconsulta.
 - b. Capacidad de atención.
 - c. Grado de utilización.
 - d. Producción.
 - e. Calidad técnica productiva
 - f. Productividad.

3. Área de apoyo de recursos: Proporciona los recursos a las áreas operativa, asistencial, de apoyo y así misma. Los factores a evaluar son:
 - a. Tasa de demanda interna
 - b. Capacidad
 - c. Dotación y disponibilidad de recursos (físicos, humanos, financieros y otros)
 - d. Grado de utilización de recursos.
 - e. Productividad de los recursos, unidades o centros de costos.
 - f. Presupuestos
 - g. Costos
 - h. Eficiencia
 - i. Rentabilidad

El resultado de la aplicación del Cuadro de Mando Integral permitió al Hospital San José bajar los costos globales en US \$ 1.000.000 durante los primeros 10 meses del año sin afectar la calidad ni la cantidad de las prestaciones de los servicios prestados a los pacientes (Martínez, R. y Dueñas, R., 2009).

Caso de implementación en el Hospital Nacional Cayetano de Heredia de Perú

El Hospital Nacional Cayetano Heredia Hospital de alta especialización inició la implementación del CMI desde el año 2008 sobre el cual se realizó una investigación sobre los resultados de la implementación del CMI en su Plan Estratégico Institucional (PEI), la cual muestra que la implementación del Cuadro de Mando Integral, permitió mejorar el control de la gestión en todas las áreas logrando un alto impacto en el incremento de los ingresos por prestaciones del Seguro Integral de Salud, reducción de las intervenciones quirúrgicas suspendidas y optimización de la utilización de las camas, además de alinear el Plan Operativo y generar una cultura de gestión por resultados según el estudio realizado por Martínez y Dueñas el cual contribuyó a demostrar los impactos favorables que tiene la implementación del Cuadro de Mando Integral en el área hospitalaria. Martínez y Dueñas, (2009)

Caso Fundación Hospital de la Misericordia (HOMI) Bogotá, Colombia

En Colombia se tiene registrado el caso de algunos hospitales de Bogotá como la Fundación Hospital de la Misericordia (HOMI), organización privada fundada el 23 de julio de 1897 con más de 100 años de experiencia en la atención a la población infantil, cuyos avances tecnológicos y de infraestructura corresponden a una institución de alta complejidad, tal es el caso de su central de urgencias, considerada la más grande del país, así como la primera Unidad de Progenitores Hematopoyéticos del país, así como sus recursos humanos de excelente calidad humana, han sido la piedra angular sobre la cual se basa el HOMI para mejorar su desempeño tanto en calidad como en estrategia de gestión (<http://fundacionhomi.org.co/La-Fundacion/Resena-Historica.aspx>).

Etapas de la Implementación del Cuadro de Mando Integral en el HOMI

Según Rocés, M (2011) el HOMI decidió implementar el Cuadro de Mando Integral para las soluciones a nivel de gestión a través de una organización de consultoría, encargada de asesorar al HOMI en las diferentes etapas que se mencionan a continuación:

- a. Orientación al diseño: Se realizó un proceso de redireccionamiento del hospital con la ayuda de 42 estrategas quienes se reunían dos veces por semana con una intensidad horaria de 3 horas por día, lo primero que se hizo fue un análisis de la situación actual del hospital, desde la misión, visión con las que contaba el hospital en el momento.
- b. Análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) del HOMI: para analizar la visión, la misión y demás componentes de calidad del HOMI se elaboró una matriz DOFA en donde se evaluaron cinco elementos.
 1. Capacidad directiva: se analiza poder de negociación de los directivos, gestión, delegación y responsabilidad social.

2. Capacidad competitiva: se investiga como los ve la competencia, su imagen corporativa, su estudio de competencias, su cobertura, su servicio de hotelería, sus planes de mercadeo, entre otros.
 3. Capacidad financiera: se verifica estructura financiera, su plan de presupuestos, su estructura de costos, insumos, capacidad de inversión, beneficio real, etc.
 4. Capacidad tecnológica: nivel de software como están en el interior con la productividad interna a nivel de cómputos, o a nivel de infraestructura con aparatos tecnológicos.
 5. Capacidad de talento humano: se evaluó el talento humano desde todos los puntos de vista, prestaciones, jornadas, clima organizacional, salud ocupacional, comunicación interna, valores organizacionales, optimización de recursos, plan de incentivos, prestaciones extralegales, juntas, gestión de competencias por ejemplo.
 6. Análisis externo de la empresa: se tuvieron en cuenta factores de mercado, sociales, demográficos, políticos y económicos.
- c. Definición de elementos claves: con base en el análisis tanto interno como externo se llegó a la conclusión que debe tenerse en cuenta para que el HOMI entre en competencia con otras instituciones en igualdad de condiciones siete (7) elementos claves como:
1. La calidad del servicio.
 2. La gestión del desarrollo humano.
 3. Los sistemas de información y la gestión de la comunicación.
 4. La sustentabilidad financiera.
 5. El desarrollo científico.
 6. La innovación.
 7. El mercadeo.
- d. Replantear misión, visión y principios corporativos: tras revisar esta etapa del proceso se llegó a concluir que debería replantearse la misión y la visión del HOMI así como sus principios corporativos, dentro de los cuales se destacó “el amor por los niños y su familia”, en cuanto al trabajo de consolidar una nueva misión y visión se trabajó con base a preguntas guía por parte del consultor del proyecto.

- e. Establecer objetivos estratégicos: en esta instancia sólo queda unir la misión del Hospital con la visión y la mejor manera de realizarlo es a través de objetivos estratégicos bien diseñados, para el caso del HOMI se establecieron 5 objetivos, con sus planes de acción a corto, mediano y largo plazo pensando esta estrategia a 3 años.
- f. Definir estrategias de cumplimiento de objetivos: una vez se han establecido los objetivos estratégicos, se definió la estrategia para el cumplimiento de cada uno de ellos. Se analizaron las estrategias de competencia, aprendizaje, etc. Y se definió como se iban a alcanzar dichos objetivos, así como los resultados esperados y excepcionales. Todo esto dio como resultado los “Objetivos de Estado” quienes junto con los análisis previos permiten realizar el mapa estratégico de una organización.
- g. Realizar un mapa estratégico: una vez obtenido el mapa estratégico, el HOMI estaba listo para empezar la implementación del Cuadro de Mando Integral y sus indicadores. Para ello era necesario de los 15 objetivos propuestos priorizar algunos para su inicio y con ello determinar quiénes son los responsables, en qué áreas aplica.
- h. Crear indicadores de gestión e implementación: una vez aplicada la matriz, se deben crear los indicadores para cada uno de los objetivos, estableciéndose para ello tres tipos de indicadores:
 - 1. Indicadores a nivel corporativo: 22 indicadores
 - 2. Indicadores a nivel de proceso: de 160 a 250 indicadores
 - 3. Indicadores a nivel cargos/personas: de 720 a 1000 indicadores

La idea central del Cuadro de Mando Integral es permitir a cada cargo un indicador que conlleve al cumplimiento del proceso, con ello al cumplimiento de las competencias, del objetivo y de la misión y visión, por ende, lo que se traduce en una óptima organización y evaluación de la gestión. Este proceso aunque tarda alrededor de 2 a 3 años para implementarse es una herramienta completa que alinea todas las variables posibles del desempeño

de una empresa y las transforma en servicios de calidad para la población infantil y su familia tal como lo estipulan los objetivos corporativos del HOMI.

Barreras en la Implementación del Cuadro de Mando Integral en el HOMI

Una de las primeras barreras detectadas es la dificultad del personal para el cambio cultural que conlleva aplicar indicadores y evaluadores para cada uno de los procesos que manejan los empleados, esta barrera aunque fuerte fue superada con talleres en donde los coordinadores motivaban al personal para trabajar de acuerdo a esta cultura.

Seguida a ésta barrera surge otra barrera de no menor importancia y se trata de inculcar en cada uno de los empleados la cultura del resultado en el hospital, pues pocas veces se trabajaba en una institución hospitalaria con base en el resultado se contaba con el servicio ofrecido como garantía de producto. Pues se tiene temor al momento de reportar resultados que éstos sean difíciles de cumplir por parte del empleado.

Sumado a estas dos fuertes barreras se tenía otra gran preocupación y era el tiempo que la implementación del CMI requería para su óptimo funcionamiento y esto particularmente es difícil de comprender cuando se tiene el día a día tan agitado para introducir un requerimiento adicional, esto también se logró superar en el HOMI gracias a la educación en talleres con las personas implicadas.

Finalmente, otra barrera importante en el momento de la implementación está dada por los costos que tiene el proceso de implementación pues no sólo se cuenta con los gastos incurridos en el consultor (horas de asesoría) sino que además debe tenerse en cuenta los costos de las licencias, los software, los demás costos que implican las horas de trabajo por equipos de coordinadores, directivos y operarios todo ello alcanza unos costos que oscilan entre US \$ 30.000 y US \$100.000, dependiendo el tamaño de la organización y las áreas en que se implementará el CMI (Roces, M., 2011).

Según Bermann y Beckford (s.f.) existen otras barreras en el momento de realizar la implementación del Cuadro de Mando Integral dentro de las cuales se encuentran:

- a. Falta de involucramiento de la dirección que continúa tomando decisiones en la forma habitual y hegemónica.
- b. Estilos de gerencia en que tener todo bajo control prevalece sobre el enfoque en la visión, misión y valores de la organización.
- c. Indicadores de inducción y resultados desbalanceados.
- d. Análisis de numerosos indicadores o muy pocos.
- e. Unidades de negocio/servicios que no se encuentran alineados con la estrategia global.
- f. Muy pocos recursos humanos involucrados.
- g. Fallas en la comunicación de la estrategia a seguir y su monitoreo.
- h. Creer que el Cuadro de Mando Integral es un proyecto de sistemas en lugar de un proyecto de gestión.

Cada organización en el transcurso de su recorrido por la implementación del Cuadro de Mando Integral, encuentra diferentes obstáculos en su proyecto que no por eso lo hacen menos favorable ante la implementación de otras herramientas, al contrario se convierte en la piedra angular sobre la cual se construye sólidamente la gestión de manera efectiva de las diferentes empresas en los variados sectores de servicios tanto públicos como privados.

Discusión y conclusiones

A partir de este trabajo de tipo descriptivo se pudo verificar que es posible la implementación del Cuadro de Mando Integral en organizaciones sin ánimo de lucro como es el caso de las organizaciones hospitalarias, se detectaron casos exitosos en los cuales a pesar de las dificultades propias de cada uno de estos entornos con la ayuda de un sistema de implementación único para cada una de las organizaciones logró no sólo la implementación exitosa del Cuadro de Mando Integral en muchos de sus procesos, sino que además se obtuvieron avances significativos en materia humana como lo es el cambio de la cultura de evaluación por resultados, el trabajo en equipo, la definición de objetivos específicos para cada área con su estrategia de implementación, intangibles que son difíciles de obtener mediante otras herramientas de medición de la gestión hospitalaria a nivel Latinoamérica.

En Colombia, las empresas de varios sectores tanto públicas como privadas han incursionado en la implementación del Cuadro de Mando Integral, con resultados muy favorables que mejoraron la gestión en la organización y por ende los resultados de éstas, mostrando los beneficios de implementar este tipo de herramientas para el control de las organizaciones.

Es necesario divulgar los beneficios de esta herramienta de gestión para que cada día más empresas tanto públicas como privadas de Colombia se unan a este nuevo mecanismo de evaluación y usen el CMI, para mejorar con ello aspectos tan importantes como la eficiencia en sus procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bugueño, M. (2003). Informe de Tesis "Aplicación del Cuadro de Mando Integral Hospital San José, Ministerio de Salud Chile. Universidad de Santiago de Chile. Revista Chilena de Salud Pública. Vol.11 (3):142-149.
- Martínez, R., Dueñas R, Miyahira J y Dulanto L. (2010). El Cuadro de Mando Integral en la ejecución del Plan Estratégico de un hospital general. Revista Médica Herediana 21. p. 154.
- Kaplan, R y Norton, D (2003). ¿Cómo Medir el Rendimiento de la Empresa? Harvard Business Review. VV.AA., Deust.
- Kaplan, R y Norton, D (2010). The Execution Premium. Integrando las Estrategias y las Operaciones para Lograr Ventajas Competitivas. Bogotá: Planeta.
- Ruíz, D. (2006) La aplicación del Cuadro de Mando Integral en Organizaciones Sanitarias. Revista iberoamericana de contabilidad de gestión ISSN 1696-294X (8): p. 13-32
- Roces, M. (2011). Balanced Scorecard Basado en Soluciones de Tecnología Business Intelligence Aplicado en Pymes. Universidad de San Andrés.
- Castaño, J. Arias, L y Lanzas, A. (2006). Un Cuadro de Mando Integral para la Gestión del Conocimiento Scientia Et Technic. Vol. XII, (31). pp. 153-158 Universidad Tecnológica de Pereira Colombia.
- Dávila, A. (1999). Nuevas Herramientas de Control en el Cuadro de Mando Integral. IESI. Revista de Antiguos Alumnos. 35.
- González, M, López, E y Gómez, J. (2011). El Cuadro de Mando Integral en el Sector Sanitario Español: Una Revisión Analítica de la Literatura. RIGC. Vol. 17
- Leyva, H y Flamm, M. (2007). Cuadro de Mando Integral (BSC) del Servicio de Pediatría del Hospital de Rancagua.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. (2007). Guía Práctica para la Elaboración del Cuadro de Mando Integral BSC. Bogotá D.C.

Salinas, M. Pardo, E. Flores, U y Selles, J. (2009). Cuadro de Mando Integral en el laboratorio clínico: indicadores de perspectiva interna del negocio en Gaceta Sanit. Vol. 23 (03):250-2.

Tejedor, A y Huertas, J (2010). El Cuadro de Mando Integral para el Diseño

y Validación de Instrumentos para Valorar el Desempeño Académico de Docentes. Revista da Avaliação da Educação Superior. Brasil. Vol. 15: 57-72. é Manuel

Zuniga, S. Pérez, M y Vargas, C (2011). Un Cuadro de Mando Integral para una Empresa del Sector Minero Chileno. Chile. Panorama Socioeconómico año 29. (42): 44-61.

Relación costo-efectividad de los programas de promoción y prevención en salud y en los tratamientos de prediálisis

Juan Carlos Angarita Santos

Médico y Cirujano. Universidad Militar Nueva Granada.

angaritajc@gmail.com

RESUMEN

Se tiene como objetivo establecer la relación costo-efectividad en los programas de promoción y prevención en salud de los tratamientos de prediálisis. Estos programas buscan establecer los resultados de las alternativas de prevención en la promoción en salud, como un mecanismo que permite una reducción sustancial de los costos, no sólo en cuanto a recursos, sino en la misma calidad de vida de los pacientes. En este sentido el trabajo se divi-

de en dos partes muy concretas: en la primera se abordan las investigaciones relacionadas con el costo-efectividad de programas de promoción y prevención de enfermedades, bien sea a nivel de proyectos estatales o programas de salud pública o macro-proyectos, como de patologías muy particulares o específicas. En este sentido, en una primera parte se hace una caracterización sobre los diversos enfoques sobre la evaluación económica en el sector salud, sien-

do entre otros los estudios costo-efectividad, costo-beneficio, minimización de costos y costo-utilidad. Cada uno de estos enfoques, buscan establecer una forma de evaluar económicamente cada una de las patologías, buscando en ello su minimización. En una segunda parte se especifican las investigaciones relacionadas con los programas orientados hacia la promoción y prevención en pacientes con prediálisis, siendo la enfermedad renal unas de las patologías crónicas que genera mayores costos para los sistemas de salud y un detrimento en la calidad de vida de los pacientes y su entorno familiar y social. Aquí la relación costo-efectividad es más compleja, pero, sin duda, los aportes presentados permiten obtener una claridad sobre los principales mecanismos para la disminución del costo y la maximización de la efectividad en los tratamientos.

Introducción

Realizar una revisión bibliográfica sobre el manejo del costo-efectividad de los programas de promoción y prevención en salud, especialmente los relaciona-

dos con los programas de prediálisis como una de las tareas teórico-prácticas que ocupa mayor importancia.

Metodología

Búsqueda en bases de datos relacionadas con los programas de promoción y prevención en salud a nivel general, como en los relacionados con la prediálisis. Se seleccionaron 20 referencias bibliográficas de artículos científicos.

Los hallazgos presentan la relación costo/efectividad de los programas de promoción y prevención a nivel general, como en aquellos relacionados con pacientes en prediálisis.

Discusión

La discusión se centró en establecer la relación que existe entre los costos que originan los programas de prevención y el nivel de efectividad que se obtiene frente a las patologías presentadas, lográndose destacar una reducción sustancial en la mayoría de los casos tratados, aun cuando se recalca como las políticas públicas no han logrado entender la profundidad y valor de estos programas.

Palabras clave: costo-efectividad, programas de salud, programas de promoción y prevención, programas de prediálisis, enfermedad renal crónica.

ABSTRACT

It aims to do a review article which permits the cost-effectiveness of programs in health promotion and prevention and treatment of pre-dialysis. These programs seek to establish the results of alternative prevention in health promotion, as a mechanism that allows a substantial reduction of costs, not only in terms of resources, but at the same quality of life of patients. In this sense, the work is divided into two very specific parts: the first deals with the investigations into the cost-effectiveness of health promotion and disease prevention, either at the project level or state public health programs or macro-projects, as particular or specific pathologies. Thus, in a first section gives a characterization of the various approaches to economic evaluation in the health sector, including studies being cost-effectiveness, cost-benefit and cost minimization bullrings-utility. Each of these approaches, seeking to establish a way to economically evaluate each of the diseases, their minimization looking at it. In the second part specifies the related research programs oriented promotion and prevention related to predialysis patients, renal disease being one of the chronic diseases that generates higher costs for health systems and the deterioration of the quality of life of patients and their family and

social environment. Here the cost-effectiveness is more complex, but undoubtedly the contributions made it possible to obtain clarity on the main mechanisms for reducing the cost and maximizing the effectiveness of treatments.

Introduction

To review the literature on the management of the cost-effectiveness of programs in health promotion and prevention, especially those related to pre-dialysis programs as one of the theoretical work-practices which occupies greater importance.

Methodology

Search databases related programs in health promotion and prevention across the board, as in the predialysis related. 20 references were selected scientific articles. The findings show the cost/effectiveness of promotion and prevention programs across the board, including those related to predialysis patients.

Discussion

The discussion focused on establishing the relationship between the costs originate prevention programs and the level of effectiveness that is obtained against the pathologies presented, achieving a substantial reduction noted

in most of the cases treated, even if emphasizes how public policies have failed to understand the depth and value of these programs.

Key Words: cost effectiveness, health programs, health promotion and prevention programs predialysis chronic kidney disease.

Introducción

Establecer una revisión bibliográfica sobre el manejo del costo-efectividad de los programas de promoción y prevención en salud, especialmente los relacionados con los programas de prediálisis es una de las tareas teórico-prácticas que ocupa mayor importancia, en tanto permite establecer una nueva práctica sanitaria enfocada más hacia la prevención de las enfermedades, logrando con ello una disminución sustancial en los costos, con una mejoría sustancial de la calidad de vida de estos pacientes, tanto a nivel general como a nivel específico en cada uno de los tratamientos.

En este sentido, el trabajo se divide en dos partes muy concretas: en la primera se abordan las investigaciones relacionadas con el costo-efectividad de programas de promoción y prevención de enfermedades, bien sea a nivel de proyectos estatales o programas de salud pública o macroproyectos, como de patologías muy particulares o específicas, como son la hipertensión arterial y la diabetes Mellitus las cuales son las principales patologías que llevan a un deterioro renal y a diálisis. En este sentido, en una primera parte se hace una caracterización sobre los diversos enfoques sobre la evaluación económica en el sector salud, siendo entre otros los estudios costo-efectividad, costo-beneficio, minimización de costos y costo-utilidad. Cada uno de estos enfoques, buscan establecer una forma de evaluar económicamente cada una de las patologías, buscando en ello su minimización.

En una segunda parte, se especifican las investigaciones relacionadas con los programas orientados hacia la promoción y prevención en pacientes relacionados con la prediálisis, siendo la enfermedad renal una de las patologías crónicas que genera elevados costos para los sistemas de salud y un detrimento en la calidad de vida de los pacientes. Aquí la relación costo-efectividad es más compleja, pero, sin duda, los aportes presentados

permiten obtener una claridad sobre los principales mecanismos para la disminución del costo y la maximización de la efectividad en los tratamientos, lo que además mejora de forma significativa la calidad de vida del paciente y su entorno familiar, social y laboral si es del caso.

Metodología

A nivel metodológico, se hizo una búsqueda en las bases de datos relacionadas con los programas de promoción y prevención en salud a nivel general, como en los relacionados con la prediálisis. Dentro de los buscadores utilizados se encuentran Academic Search Complete (EbscoHost) y Biblioteca Nacional de Salud (BVS), Pubmed y Biblioteca Virtual en Salud (Colombia).

En estos buscadores se lograron ubicar las revistas, artículos científicos relacionados con las ciencias biomédicas. Se seleccionaron 20 artículos científicos.

Asimismo, los criterios de selección de los artículos se fundamentaron en los estudios relacionados con el costo-efectividad de los programas de promoción de salud y en los estudios relacionados con la prediálisis. Se descartaron aquellas investigaciones relacionadas con los programas de promoción de salud que no tenían en cuenta el costo-efectividad de estos.

Los hallazgos que se presentan a continuación, corresponden a la revisión de varios estudios que permiten establecer la relación costo/efectividad de los programas de promoción y prevención a nivel general, para precisarlo posteriormente en los programas de pacientes en prediálisis.

Uno de los estudios que aporta en la caracterización, definición, modelación y reglas costo-beneficio de la evaluación económica en el sector de la salud es el dado por García et ál (2010), quienes contribuyen en la construcción de las herramientas necesarias para la evaluación económica y la investigación operacional que apoye la toma de decisiones en salud, siendo la técnica de modelación y las reglas costo-beneficio, las más aplicada en estos ambientes sanitarios.

Subrayan estos autores que los limitados recursos en salud implican el desarrollo de herramientas que permitan utilizarlos en función del costo/efectividad, de ahí que precisan la existencia de 4 tipos fundamentales para hacer una evaluación económica completa: Estudio costo-efectividad (ECE),

estudio costo– beneficio (ECB), estudio de minimización de costos (EMC) y estudio de costo– utilidad (ECU). El primero corresponde a la necesidad de “identificar y cuantificar los costos y los resultados de diversas opciones o procedimientos alternativos para alcanzar un mismo objetivo” (Rodríguez et ál, 2010, p. 934).

El EMC corresponde a la comparación de una o más elecciones en donde se presenta el mismo resultado sanitario cuando se dan determinadas circunstancias que son similares, luego los riesgos son iguales, siendo el tema de los costos los valores netos directos de las diversas alternativas, para definir cuál es la menos costosa. El ECB corresponde a un tipo de evaluación económica en donde costos y consecuencias son expresados únicamente en términos monetarios. Por último el ECU se enfoca más en la identificación y cuantificación de los costos y los resultados que corresponden a procedimientos alternativos cuando se tiene un mismo objetivo. Rodríguez (2005) asume el estudio desde una perspectiva analítica-propositiva sobre la reforma en salud de Nicaragua, poniendo especial atención en el tema del coste efectividad de algunos programas implementados, máxime cuando se encuentran orientados a la población más vulnerable. Uno de los primeros aspectos que tiene en cuenta es el de la administración de los recursos en salud, destacando la necesidad de que se implementen sistemas de información sistematizados que permitan definir y monitorear los costos de los servicios, a fin de poder clarificar cuales tienen subsidio y cuáles no: “los hospitales públicos no cuentan con instrumentos de gestión ni de información que les permitan conocer sus costos y desarrollar una cultura de calidad” (Rodríguez, 2005).

Esta realidad del sector salud es evidenciada por los autores, quienes hacen ver como de 6 hospitales pilotos, únicamente 2 eran rentables, mientras que en los otros los precios de los servicios eran inferiores al costo. Esta situación se evidenciaba en las deficiencias en la facturación y cobro de los servicios prestados, cuyo origen estaba en la falta de adecuados sistemas de contabilidad y costos. Asimismo, uno de los programas que más se destacan por la relación costo/efectividad ha sido el de las casas maternas, en donde se logro bajar sustancialmente la mortalidad materna en la mayoría de los distritos de salud (Rodríguez, 2005).

Este enfoque social a los programas de prevención es el establecido por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2008), relativo a

los programas de prevención y control de infecciones (PCI) asociadas a la atención sanitaria (IAS), los cuales han demostrado que “han dado buenos resultados en el control de las IAS en distintos entornos de forma-sostenible y con una relación costo-beneficio muy favorable. Muchos de esos programas surgieron a raíz de un brote o una crisis e incluyeron una respuesta caracterizada por un sólido respaldo y liderazgo político (local o nacional)” (OMS, 2008, p. 1).

Los resultados parten del criterio de que los programas e intervenciones preventivas en salud tienen un efecto positivo en las condiciones de salud de las poblaciones, en la medida que son sencillas y costo-eficaces. Esta eficacia obedece principalmente a que la carga de morbilidad relacionada con la IAS, requieren de un tipo de intervenciones cuya característica es ser de bajo costo y de haber sido detectado el problema de forma rápida, más cuando se asume a partir de un brote o una crisis.

En este sentido, se destaca como el papel de la OMS se enfoco en ayudar a los diferentes países miembros en la promoción de planes de atención en salud que implicaran como criterios alta calidad y bajo riesgo de IAS en los diferentes actores presentes en los centros sanitarios: pacientes, personal sanitario y personas asociadas a estos (OMS, 2008).

Asimismo, al abordar ya programas específicos, se encuentra el aporte de Lizarraga y Jurado (2008), quienes emprenden, entre otros aspectos, el tema del costo/efectividad en el marco de la telemedicina y teledermatología, puesto que ven como un objetivo del uso de estas nuevas tecnologías, el aprovechar los recursos sanitarios y, con ello, una reducción en los costos y una mayor efectividad en la atención.

Dentro de esta nueva línea de atención en salud, estos autores destacan que los costos dentro de esta infraestructura compleja incluyen instalaciones, material inventariable (equipos de fotografía, sonido y video—muchos de estos de alta definición-), mantenimiento y horario del personal. Destacan que si bien la teledermatología es más costosa en el corto tiempo, pero que a largo plazo esta relación se invierte en lo económico y lo social: “es de gran beneficio para los pacientes que tienen que recorrer grandes distancias para recibir atención médica especializada, al disminuir el tiempo que la persona se ausenta de su trabajo para asistir con el médico y los costos que dicho traslado le ocasione, además de que se reducen los tiempos

de espera, lo cual repercute benéficamente en el aspecto psicosocial de la población” (Lizarraga y Jurado, 2008, p. 79).

Otro aspecto que se insiste es como el diagnóstico bajo este sistema logra un nivel de efectividad del 92 y 86%, siendo evidente los beneficios en el sector de la salud. Finalmente, recalcan como el desarrollo de la nueva tecnología (dispositivos, sensores, comunicaciones y nanotecnología) contribuirá en establecer una mejoría en cuanto a costo/beneficio.

Frente a los programas preventivos se tiene el aporte de Romero, Zarate y Zorzer (2009), quienes hablan sobre la relación coste/efectividad o eficiencia en la implementación de programas preventivos en el Hospital Alemán de Argentina. Señalan previamente como pese a existir una aceptación común que la prevención de enfermedades supone un ahorro de recursos, existe la contradicción de que a la hora de abordar este tipo de programas preventivos, se presenten inconvenientes al momento de establecerse los presupuestos para su financiación. Al respecto ponen como ejemplo varias empresas que han logrado, a través de programas preventivos, no sólo ahorrar, sino mejorar la rentabilidad de estas:

- **Motorola:** ahorro \$3,93 por cada \$1 invertido con un Programa de Controles de Salud.
- **Caterpillar:** lleva a cabo un Programa de Vida Sana proyectando ahorrar \$700.000.000 al 2015.
- **Johnson & Johnson:** realiza diversas tareas preventivas, como “Días de Prevención” con ahorros anuales de \$224,66 por cada empleado.
- **Cigna:** refiere que con el Programa de Fomento de la Lactancia Materna ha disminuido el ausentismo y tiene un ahorro de 62% en farmacia (Romero et ál, 2009, p. 21)

En este trabajo la relación entre el costo y la efectividad inciden varios factores determinantes en el momento de la valoración: aplicación de la prueba, tiempo de ausencia del trabajo de los trabajadores y posibles complicaciones. Destacan igualmente que asuntos como el tabaco, alcohol, uso

de drogas ilícitas, alimentación y hábitos de ejercicio son factores que pueden evitarse o disminuirse con la aplicación de programas preventivos de tipo educativo y conductual; estos mismos son el pilar fundamental tanto para la prevención, como una parte importante del manejo de patologías como la hipertensión arterial y la diabetes Mellitus e incluso en aquellos pacientes que ya se encuentran en prediálisis o llegan a la diálisis.

En síntesis, Romero et ál (2009) subrayan como los programas preventivos permiten que se puedan identificar los factores de riesgo o trastorno en una etapa que permite su corrección o cura, lo cual incide de forma notable en el costo/efectividad de las patologías tratadas especialmente lo referente a obesidad, hipertensión y diabetes Mellitus y ya en los casos más avanzados de estos pacientes, como en la enfermedad renal que requieren su paso de prediálisis a diálisis, aumentando los costos no sólo en salud sino sociales. El estudio destaca que los mayores trastornos que se pueden prevenir son: tensión arterial, talla, peso, colesterol, diabetes, frotis de Papanicolaou, detección Chlamydia, mamografía, cáncer colorrectal, osteoporosis, consumo de alcohol, visión y audición y, vacunación de adultos (tétanos, difteria, varicela, sarampión, parotiditis, rubeola y neumococos).

Mandile y Torres (2010) señalan inicialmente las cifras relacionadas con la Enfermedad Cardio Vasculiar (ECV), destacando el costo aproximado de 30 billones de dólares invertidos por Estados Unidos, a lo que se suma que las previsiones para el año 2020, esta enfermedad será la primera en el mundo en cuanto a generadora de incapacidad. Frente a esta problemática, el trabajo de estos autores se centra en el análisis de las dos estrategias para el tratamiento del ictus (accidente vascular cerebral), especialmente el ictus isquémico agudo: unidades de ictus (UI) y trombolisis cerebral endovenosa con rt-PA.

En cuanto a la UI, se notaron los beneficios de la atención hospitalaria como reducción en las muertes registradas, en el riesgo de muerte o institucionalización y el de muerte o dependencia: “el beneficio persiste después de ajustar por edad, sexo y gravedad del déficit neurológico inicial y distintos subtipos de ictus, sin producir una duración mayor en la estadía hospitalaria” (Mandile y Torres, 2010, p. 8).

Frente a la trombolisis cerebral (TC), este estudio destaca una relación costo/beneficio sustancialmente ventajosa en la medida que se pudo demostrar una disminución del grado de discapacidad de los pacientes al pasar de

un 34 a un 54%, al que se suma una restitución casi completa de sus funciones en 90 días. No obstante, Mandile y Torres (2010) observan que alrededor de este tratamiento existe preocupación por la hemorragia intracerebral (HIC) secundaria al tratamiento. Los costos establecidos muestran como el tratamiento con TC corresponden a \$5.400 pesos argentinos, en tanto que en el tratamiento convencional llega a la suma de \$9.000 pesos argentinos. Consecuencia de estos resultados, los autores proponen introducir la trombolisis cerebral con rt-PA como un tratamiento de primera línea en los diversos centros y unidades de ictus que se encuentren debidamente acreditadas.

Desde otra perspectiva se encuentra el estudio de Alonso, Leto y Cunha (2006), quienes hacen una evaluación costo/beneficio de las terapias cardiovasculares, en tanto permiten, frente a las limitaciones en recursos, que se logre mayor eficiencia en los tratamientos y atención de los pacientes: de las terapéuticas cardiovasculares evaluadas se observó una excelente relación costo-beneficio con los trombolíticos, aspirina, algunos subgrupos de cirugía de revascularización miocárdica y las estatinas en prevención secundaria. El análisis de costos de este programa se fundamentó en la siguiente fórmula: costo actual-costo anterior, efecto actual-efecto anterior.

La evaluación económica de las diversas terapias cardiovasculares reveló como algunas responden a las condiciones del sector salud en América Latina, en cuanto a que son de bajo costo y se logra efectividad, en tanto que otras tienen un costo relativamente alto, lo que impide que se pueda aplicar a un número considerable de personas, de ahí la necesidad de fortalecer la relación costo-efectividad en un marco de economía conforme al entorno latinoamericano.

Asumiendo otra perspectiva de análisis, se ubica el trabajo de Chicaiza y García (2008), quienes hicieron una evaluación económica y sostenibilidad financiera de un Modelo de Atención Primaria en Salud en el sector de Suba en Bogotá, pero específicamente en el Hospital de Suba II nivel. En este estudio se hizo un análisis costo-efectividad, siendo uno de sus principales factores las unidades de años de vida ganados en el marco de la mortalidad materna y mortalidad infantil cuando se presenta enfermedad diarreica aguda.

De otro lado, se encuentra el estudio de Gorriz y Pallardo (2006), quienes hacen un análisis sobre la trascendencia que tiene el manejo ambulatorio óptimo de pacientes con enfermedad renal crónica (ERC), puesto que es

decisivo no sólo en el mismo tratamiento, sino en los costos de los recursos destinados o asociados a esta patología. Este primer acercamiento muestra que la problemática se debe abordar desde dos puntos de vista que se encuentran próximos a la actuación clínica real: concienciación y formación a Atención Primaria a fin de tener una detección precoz de la ERC y la potenciación de las consultas de prediálisis o de enfermedad renal crónica avanzada (ERCA).

De estos dos puntos, Gorriz y Gallardo (2006) señalan como la clave para la atención y potenciación está dada en una actuación ambulatoria, la cual permitiría una optimización de los recursos y un “aprovechamiento vital para pacientes no seleccionados para su entrada en hemodiálisis” (p. 12). Es decir, que para estos autores, el costo/beneficio de la atención ambulatoria es indudable, aun cuando, vale decir, que el estudio no se encuentra soportado en datos que permitan afirmarlo, sino que su soporte está dado en la experiencia de los autores. Asimismo, el estudio de Rodríguez et al (2007) aborda el impacto de “la implementación de un protocolo de renoprotección (prediálisis) sobre la progresión de la insuficiencia renal crónica hasta estadio terminal y evaluar el tiempo promedio del total de pacientes sin requerir de diálisis” (p. 10). Los resultados de la aplicación de este protocolo, a través de un programa específico con 174 pacientes, mostraron que es efectivo, luego los costos por el ingreso de pacientes a diálisis bajaron sustancialmente.

Atendiendo la misma problemática de la ERC, Alcázar, Martínez y González (2008), parten de como la Enfermedad Renal Crónica (ERC) es una de las patologías crónicas más complejas debido a su elevada incidencia y prevalencia, a lo que se suman los costos socioeconómicos en los cuales se desarrolla su tratamiento, pues en España llega a tener, en su fase más avanzada, un valor de 800 millones de euros a nivel anual. Esta situación implica que se desarrolle un programa que permita la detección precoz y la remisión adecuada de los pacientes con ERC.

Estos resultados, soportados en otras investigaciones, muestran que la costo efectividad de los programas de prevención y detección de la ERC, son positivos, en la medida que permite entre otros aspectos: identificación precoz de causas reversibles de insuficiencia renal, disminución de la velocidad con la cual progresa esta enfermedad, disminución de las tasas de

morbimortalidad cardiovascular relacionada con la insuficiencia renal, preparación adecuada de los pacientes cuando sea necesaria la diálisis, disminución sustancial de los pacientes en las estancias hospitalarias (Alcázar et ál, 2008).

Otro de los trabajos que aborda la relación costo/beneficio en la enfermedad renal crónica (ERC) es el realizado por Padulles y colabs., quienes fundan sus investigaciones en la utilización de la eritropoyetina beta pegilada (PegEPO) para este tipo de enfermedad en estadio 3,4 o 5 no-D. Al hacer el análisis con estos tres tipos de pacientes, se logro determinar una reducción del coste real del tratamiento, lo que significo una optimización del tratamiento con PegEPO: “Usando las dosis indicadas en ficha técnica, el coste mensual con PegEPO sería de 218,4 €/paciente/mes (coste real: 142,3 €/paciente/mes; $p < 0,0001$; IC 95% δ : -91,77 a -60,45). El coste medio por paciente y mes conPegEPO para pacientes que recibían darbepoetina y eritropoyetinabeta previa seria de 268,1 y 163,98 €/paciente/mes, respectivamente ($p < 0,0001$ comparado con el coste real) (Padulles y colabs., 2012, p. 225).

Discusión

Los programas de promoción y prevención en salud, además de buscar una mejora en la calidad de vida de los pacientes, busca como último fin la reducción de los costos en el tratamientos de las diversas patologías, que en la actualidad son las que más consumen los diferentes sistemas de salud, además de los costos generados por ausentismo laboral, pensiones tempranas, etc., a la vez que logra una mayor efectividad en la calidad de dichos tratamientos.

Estos programas se convierten así en una herramienta de alta calidad que pueden utilizar de forma práctica las diversas entidades de salud en enfermedades muy específicas o como parte esencial de las políticas públicas de los estados, tendientes a generar un mayor impacto en la reducción de enfermedades de alto impacto en la población.

Esto se observa en las investigaciones relativas a los programas de salud en Nicaragua. En este orden de estudios también se encuentran los desarrollados por la Cepal, donde los programas se enfocan hacia la lucha contra la pobreza, donde lo que se busca es que los costos se encuentre

relacionados con la eficacia y eficiencia de las diversas intervenciones en salud que se encuentren orientados hacia los beneficiarios, lo que indica que el enfoque esta dado es por los resultados que se obtengan el proceso de intervención, de ahí que también se incluyan los costos en que incurrieron los beneficiarios (Navarro, 2005).

En este mismo se orientan las propuestas desarrolladas por la OMS (2008), donde se enfoca de forma más directa en la prevención y control de infecciones, pues este tipo de enfermedades es uno de los más recurrentes, pero si se abordan en perspectiva de programas de promoción y prevención específicos para riesgo cardiovascular como son por ejemplo la hipertensión arterial, la diabetes Mellitus entre otros, los resultados permiten una disminución de las enfermedades y, por ende, un menor costo en los tratamientos.

Otra situación ocurre con los trabajos sobre la prediálisis, donde los trabajos se enfocan más en programas que eviten llegar a la diálisis, de ahí que se enfoquen más en la detección de la enfermedad de forma temprana (Gorritz y Pallardo, 2006).

Conclusiones

- Existe una tendencia cada vez mayor en los programas de prevención y promoción en salud enfocados hacia la reducción de costos, pero con el objetivo de lograr una mayor efectividad en la atención en salud, de forma oportuna, lográndose realizar un diagnóstico precoz de las patologías que mayor impactan la evolución de la enfermedad renal como los son la hipertensión arterial y la diabetes Mellitus como lo hemos venido recalando.
- Estos costos buscan ante todo mejorar las condiciones de calidad de vida de los pacientes, en la medida que se busca prevenir o detectar las patologías de forma temprana, evitando con ello mayores costos en el tratamiento de la enfermedad y sus complicaciones, involucrando al paciente y su entorno familiar y social si es del caso, mediante programas de educación de su autocuidado.

- Estos costos son más evidentes en la prediálisis, donde los tratamientos son muy costosos, consumiendo un alto porcentaje de los gastos destinados para la salud, de ahí la relevancia en la necesidad de implementar programas que ayuden a su detección y tratamiento temprano, adecuado control y seguimiento de las principales enfermedades que desencadenan y/o aceleran el deterioro de la función lo que disminuiría de forma importante los costos en salud, disminuye y/o evita el ausentismo laboral en los casos que allá lugar entre muchos otros gastos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar, R., Orte, L. y Otero, G. (2008). Enfermedad renal crónica avanzada. En *Revista Nefrología*. Vol. 3, Suppl. 3. Recuperado el 3 de noviembre de 2012 de www.revistanefrologia.com/modules.php?name=webstructure&idwebstructure=1&n=1354704282
- Alonso, A., Leto, R. y Cunha, C. (2006). Análisis económico de terapéuticas Cardiovasculares. En *Revista de Posgrado de la VIa. Cátedra de Medicina*. Recuperado el 4 de noviembre de 2012 de www.med.unne.edu.ar/revista/tapa.htm
- Chicaiza, L. y García, M. (enero-junio 2008). Evaluación económica y sostenibilidad financiera del modelo de atención primaria en salud (APS) en la localidad de Suba de Bogotá-Colombia. En *Revista Gerencia y Políticas de Salud*. Vol. 7, (14). Recuperado el 3 de noviembre de 2012 de www.rev_gerenc_polit_salud.javeriana.edu.co/
- Congreso de Colombia. (2011). *Ley 1438 (19, enero, 2011) por medio de la cual se reforma el Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones*.
- García, J., García, A., Rodríguez, G. y Gálvez, A. (2010). Herramientas de la evaluación económica y la investigación operacional que apoyan la toma de decisiones en salud. En *Revista Salud en Tabasco*, Vol. 16, N° 2-3. Recuperado el 3 de noviembre de 2012 de www.redalyc.org/redalyc/pdf/487/48720965005.pdf
- Golper, T. (2007). Predialysis Nephrologycare Improves dialysis Outcomes: Now What) orchapter Two. *Medical Specialties Patient Care Center, Vanderbilt University Medical Center*. Vol. 2.
- Gorrioz, J. y Pallardo, M. (2006). Remisión precoz del paciente a nefrología: utopía o realidad. En *Revista Nefrología*, Vol. 26, Suppl 3. www.revistanefrologia.com/modules.php?name=webstructure&idwebstructure=1&n1354704282

- Lizarraga, C. y Jurado, F. (2008). Telemedicina y teledermatología. En *Revista Mexicana Dermatología*, 52, (2). Recuperado el 2 de noviembre de 2012 de www.nietoeditores.com.mx/dermatologia-revistamexicana/4-dermatologia/5653-vista-digital.html
- Mandile, M. y Torres, M. (2010). Costo-beneficio en tratamiento trombolítico en ACV isquémico. *Curso Anual de auditoría médica del Hospital Alemán*. Recuperado el 15 de noviembre de 2012 de www.auditoriamedicahoy.net/biblioteca/Costo%20benef%20tto%20trombol%20en%20ACV%20Mandile.pdf
- Navarro, H. (2005). *Manual para la evaluación de impacto de proyectos y programas de lucha contra la pobreza*. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica Social (ILPES). Recuperado el 4 de noviembre de 2012 de www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/1/21591/P21591.xml&xsl/ilpes/tpl/p9f.xsl
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). *Componentes básicos para los programas de prevención y control de infecciones*. Ginebra: autor. Recuperado el 2 de noviembre de 2012 de www.who.int/csr/resources/publications/WHO_HSE_EPR_2009_1/es/index.html
- Owen, J., Walker, R., Edgell, L., Collie, J., Douglas, L., Hewitson, T. y Becker, G. (2006). Implementation of a pre-dialysis clinical pathway for patients with chronic kidney disease. *International Journal for Quality in HealthCare*. 18 (2).
- Padulles, N., Comas, D., Yuste, M., Jodar, R. y Martínez, A. Utilización de eritropoyetina beta pegilada en enfermedad renal crónica en estadio 3, 4 o 5 no-D. (2012). En *Revista Nefrología. Sociedad Española de Nefrología*, 32, Supl. 2. Recuperado el 3 de noviembre de 2012 de www.revistanefrologia.com/modules.phpname=webstructure&idwebstructure=1&n1354704282
- Programa de Apoyo a la Reforma de Salud. (s. f.). *Relación costo-beneficio del nuevo modelo de supervisión en el sector de la salud*. Ministerio de Protección Social.
- Rodríguez, A. (2005). *La reforma de salud en Nicaragua*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado el 5 de noviembre de 2012 de www.eclac.org/publicaciones/xml/2/27132/lcw81e.pdf
- Rodríguez, R., Nieto, M., Corrado, P., Martínez, A., Escobar, C y Jaramillo, C. (2007). Retardo en la progresión del daño renal en pacientes con insuficiencia renal crónica estado 4, impacto de un programa de prevención en prediálisis. En *Revista de la Asociación Colombiana de Nefrología e Hipertensión Arterial*, Vol. 1 (0).
- Restrepo, C., Chacón, A. y Arcos, C. (2007). ¿Es útil la profilaxis antibiótica para prevenir

- infecciones relacionadas con la inserción de catéteres transitorios para hemodiálisis? En *Revista de la Asociación Colombiana de Nefrología e Hipertensión Arterial*, 1 (0). Recuperado el 4 de noviembre de 2012 de www.asocolnef.com/home.php?id=59
- Romero, A., Zarate, S. y Zorzer, S. (2009). Implementación de programas preventivos. *Curso Anual de auditoría médica del Hospital Alemán*. Recuperado el 5 de noviembre de 2012 de www.auditoriamedica.wordpress.com/2011/08/27/biblioteca-deauditoria-medica-del-hospital-aleman/
- Wai, A., Chau, K., Ho, Y. y Kam, P. (2007). Development of the “Peritoneal Dialysis First” model in Hong Kong. En *Peritoneal Dialysis International*, Vol. 27, Suppl. 2.

2

Gestión ambiental

Manejo de lixiviados en América Latina

Leachates management in Latin America

Claudia Romero Buitrago

Enfermera profesional, especialista en Salud Ocupacional

Mauricio Orjuela Manrique

Enfermero profesional, especialista en Salud Ocupacional

RESUMEN

El objetivo de este artículo es realizar una revisión teórica del tratamiento de lixiviados en América Latina. La metodología usada es una revisión sistemática de fuentes.

El manejo de basuras en América es un problema complejo, siendo el relleno sanitario la forma más práctica y económica para el manejo de los desechos generales, pero esto implica un factor crítico para la sostenibilidad ambiental.

Es de conocimiento público que los rellenos sanitarios presentan problemas

debido al mal funcionamiento, lo más común son los olores desagradables que pueden llegar a ser tóxicos, tales como éteres de sulfuro de hidrogeno, compuestos organosulfurados, alquil benzenos y otros hidrocarburos, los cuales generan efectos sobre la salud humana.

Los lixiviados son el resultado de la percolación de líquidos a través de los desechos sólidos en proceso de estabilización. La complejidad del tratamiento de los lixiviados se debe a que su composición es altamente tóxica y variable. Los

lixiviados contienen dos contaminantes que causan daño a los ríos y las aguas subterráneas, y amoníaco, el cual, en concentraciones bajas, mata los peces; compuestos orgánicos disueltos medidos como demanda química de oxígeno

(DQO) que reduce los niveles de oxígeno disuelto del agua y destruyen todos los organismos acuáticos. Otros contaminantes encontrados en el lixiviado son: plaguicidas, metales, sólidos suspendidos, metano disuelto.

Palabras clave: aguas residuales, inoculantes, residuos de compostaje.

ABSTRACT

To review theoretical leachate treatment in Latin America, following the methodology proposed by the University for Which there were two matrices. In the initial matrix thirty articles were selected and the second array was selected to review the subtopics.

The management of the litter in America it's a complex problem, being the landfill the most practical and economic way for its management, but this implicates a critical factor for the ecological sustainability. It is of public knowledge that the landfills present problems due to their mal functioning, the most common is the unpleasant odours that can be toxic, like the hydrogen sulphide ethers, organosulphurade compounds,

alkyl benzenes and other hydrocarbons that generate effects on the human health. Leachates are the result of the percolation of liquids through the solid waste in stabilization process. The complexity of the treatment of leachates is due to its highly toxic and variables compounds. Leachates contains two pollutants that cause damages to the rivers and the ground water, like ammoniac, that in low concentration kills the fishes; organic compounds dissolve measure as a chemical demand of oxygen (DQO) that reduces the oxygen levels dissolve in water and destroy all the aquatic organisms.

Other pollutants found in leachates are: pest-control substance, metals, suspended solids, dissolve methane.

Key words: residual water, inoculants, residues of compost.

Introducción

Los lixiviados se generan a partir del agua que traen los residuos como producto de la percolación del agua de lluvia a través del relleno y por procesos bioquímicos en el interior de las células. El alto poder contaminante de los lixiviados hace necesario un tratamiento adecuado, previo a su destino final. Este tratamiento dependerá del origen, composición y producción del lixiviado, mientras que la disposición final variará de acuerdo con los tratamientos recibidos, tales como vertido a aguas superficiales, descarga en estaciones depuradoras de aguas residuales, descarga sobre pilas de compostaje o descarga sobre el propio vertedero (Laines Canepa y Goñi Arévalo, 2008).

Los rellenos sanitarios, en la mayoría de los países, corresponden al destino final más común de los residuos sólidos domiciliarios (Renou, 2008), (Moraes y Bertazzoli, 2005). Uno de los problemas ambientales generados por rellenos sanitarios corresponde a sus residuos líquidos, residuos conocidos como lixiviados (Primo, Rivero, y Ortiz, 2007), (Primo, Rivero y Ortiz, 2007).

Las características químicas de los lixiviados varían de manera significativa en función de numerosos factores como son el clima, la edad del relleno sanitario, la composición de la basura y la geología del terreno (Karadag, 2007).

Las características físico-químicas de los lixiviados definen los potenciales efectos tóxicos causados sobre el tratamiento biológico. Las variables que presentan mayor variación son las asociadas a materia orgánica, encontrándose que cuanto mayor es la concentración de DQO, mayor es el porcentaje de inhibición del proceso y más complejo puede ser el tipo de toxicidad (Torres, Barba, y Pizarro, 2010).

En este sentido, desde los años ochenta las políticas de control de contaminación ambiental en América Latina han evolucionado sustancialmente, su evolución tiende a acciones preventivas dirigidas al generador (Méndez Novelo, Santos Ocampo, Sauri Riancho, Giácoman Vallejos y Castillo Borges, 2010).

La selección del proceso de tratamiento de lixiviados es una tarea compleja (Longsdon, Hess, y Horsley, 2002). No existe, por tanto, un sistema de tratamiento exclusivo para el lixiviado; por el contrario, se proponen normalmente numerosos métodos de tratamiento que se combinan e incluyen tratamiento biológico, precipitación química, absorción con carbón

activado, sedimentación, flotación y filtración como tratamientos generales, y tratamientos específicos, tales como oxidación o reducción química, intercambio iónico, membranas, *stripping* y oxidación húmeda (Bueno, Sastre, Lavin, Fernández, y Cuervo, 1995).

Lo anterior hace pensar que la gestión de lixiviados es clave para la eliminación del potencial que tiene un vertedero para contaminar acuíferos subterráneos. Estos autores comentan el uso de varias alternativas para gestionar el lixiviado recolectado de los vertederos, incluyendo 1) reciclaje del lixiviado, 2) evaporación del lixiviado, 3) tratamiento seguido por evacuación y 4) descarga en los sistemás municipales para la recolección de aguas residuales.

Tradicionalmente, el sistema que más se ha utilizado es la recirculación del lixiviado al propio vertedero, que se convierte así en un gigantesco digester anaerobio para el tratamiento de los lixiviados. El lixiviado debe ser recirculado en las celdas de residuos confinados en función de los requerimientos de humedad para la descomposición de los residuos, o bien ser tratados o una combinación de ambas. Este sistema aporta importantes ventajas entre las que se destacan la reducción del tiempo necesario para la estabilización del vertedero, la reducción del volumen de lixiviados por evaporación y la reducción de los costos finales de tratamiento (Pohland, 1986).

Según lo anterior los inconvenientes más importantes que presenta, son el alto costo de mantenimiento de los sistemás de recirculación de lixiviados, la emisión de olores en las balsas de almacenamiento, producción de insectos y la necesidad de diseño de sistemás de recolección de lixiviados para cargas hidráulicas más altas. El alto poder contaminante de los lixiviados hace necesario un tratamiento adecuado, previo a su destino final. Este tratamiento dependerá del origen, composición y producción del lixiviado, mientras que la disposición final variará de acuerdo con los tratamientos recibidos, tales como vertido a aguas superficiales, descarga en estaciones depuradoras de aguas residuales, descarga sobre pilas de compostaje o descarga sobre el propio vertedero. En América Latina, en cambio, el uso se encuentra restringido debido a varios factores, entre los cuales se pueden mencionar el elevado costo de los polímeros (poli electrolitos) industriales; el hecho que en muchos de estos países la producción de polímeros aplicables al tratamiento es poca o inexistente y, en consecuencia las empresas

de servicio se ven forzadas a depender de un producto importado, cuyo abastecimiento puede escasear en cualquier momento; y el bajo nivel de desarrollo tecnológico en algunos lugares, que no permite la rápida utilización de nuevos productos (CER, 2000), (Laines Canepa, Goñi Arévalo, Adams Schroeder, y Camacho Chiu, 2008).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo propuesto para este documento es hacer una revisión del manejo de los lixiviados en los diversos contextos en América Latina, analizando los diferentes procesos en el tratamiento de los desechos domésticos e industriales.

Método

Se realizó una revisión de artículos científicos sobre el manejo de lixiviados en América Latina; en la primera parte se seleccionaron 60 artículos científicos sobre lixiviados, luego se depuraron a 30, en los cuales se tiene en cuenta específicamente el manejo de lixiviados. En la segunda parte se tomaron los treinta artículos específicos, se denotaron tres variables: los que trataban sobre el manejo similar, los que hablaban de manejos diferentes y los que proponen manejos particulares; para finalmente trabajar sobre tres subtemas que son: manejo de lixiviados con inoculantes, manejo de lixiviados en aguas residuales y manejo de lixiviados por compostaje. La temporalidad de producción de los documentos es de 1996 a 2010. El idioma que se tuvo en cuenta solamente fue el español, los tipos de documentos elegidos fueron: artículos científicos, revistas científicas, publicaciones de universidades de Colombia.

Toda la información se depuró en dos matrices, la primera es una matriz que permitía reconocer aspectos bibliográficos de la fuente, metodología de obtención de los documentos y estudios, resultados referentes al tema específicos de la revisión y conclusiones inherentes a éste. La información de esta matriz fue determinada sólo para las treinta fuentes seleccionadas.

La segunda matriz permitió identificar los elementos comunes, los no comunes y los diferentes en la literatura seleccionada, reconocer los subtemas o categorías de análisis sobre las cuales se podía concentrar la revisión entre los diferentes autores; a partir de este análisis se daba paso al desarrollo de los subtemas y a los elementos a incluir dentro de la discusión,

para luego identificar las conclusiones. La segunda matriz permitió reconocer los subtemas tratamiento de lixiviados con inoculantes, manejo de lixiviados con aguas residuales y manejo de compostaje con lixiviados, los cuales constituyen el contenido de los resultados de esta revisión.

Resultados

Tratamiento de lixiviados con inoculantes en América

En los últimos años se ha investigado sobre tratamientos utilizando productos inorgánicos en procesos fisicoquímicos (Ntampou, Zouboulis y Samaras, 2006), utilizaron una combinación de métodos fisicoquímicos (coagulación-floculación y ozonificación) para hacer más eficiente el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Hamidi, Salina, Mohd, Faridah y Mohd, 2007). Removieron color de un lixiviado de relleno sanitario por medio de un proceso de coagulación-floculación (Rivas, Beltrán, Carvalho, Acedo y Gimeno, 2004). Estabilizaron lixiviados con un proceso secuencial de coagulación-floculación más oxidación química (Tatsi, Zouboulis, Matis y Samara, 2003). Utilizaron coagulación-floculación como pretratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Wang, Zhang, Lin, Deng, Tao y Zhuo, 2002).

Utilizaron procesos de coagulación y fotooxidación en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Amokrane, Comel y Veron, 1997). Pretrataron lixiviados con coagulación-floculación. Por esta razón, en la actualidad el uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación está bastante extendido y es práctica corriente en muchas plantas de tratamiento de agua, principalmente de países con alto poder contaminante de los lixiviados, lo cual hace necesario un tratamiento adecuado, previo a su destino final (Wang, Zhang, Lin, Deng, Tao y Zhuo, 2002).

Existen numerosos estudios sobre el efecto del reactivo Fenton en la remoción de contaminantes de lixiviados de rellenos sanitarios. Cuando se utiliza una proporción de Dióxido de Hierro y Peróxido de Hidrogeno [Fe^{2+}]/ $[\text{H}_2\text{O}_2]$ igual o mayor a 1,25, la reacción puede dividirse en dos procesos.

El primero consiste en una oxidación inicial a valores bajos de pH, alrededor de 3. El segundo proceso, el cual sigue al de oxidación, es la coagulación-floculación a valores altos de pH (entre 7-8). Se interpreta que el

paso de coagulación en la reacción Fenton desempeña un papel primario en la remoción selectiva de contaminantes, ya que la reacción no es una coagulación. Sin embargo, ya que la eficiencia de la remoción de contaminantes orgánicos en la reacción resulta más alta que la coagulación, la reacción Fenton en el proceso de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios puede ser llamada como un tipo de “coagulación mejorada” su destino final.

Este tratamiento dependerá del origen, composición y producción del lixiviado, mientras que la disposición final variará de acuerdo con los tratamientos recibidos, tales como vertido a aguas superficiales, descarga en estaciones depuradoras de aguas residuales, descarga sobre pilas de compostaje o descarga sobre el propio vertedero (Méndez Novelo, Santos Ocampo, Sauri Riancho, Giácoman Vallejos y Castillo Borges, 2010).

Tradicionalmente, el sistema que más se ha utilizado es la recirculación del lixiviado al propio vertedero, que se convierte así en un gigantesco digestor anaerobio para el tratamiento de los lixiviados. La selección del proceso de tratamiento de lixiviados es una tarea compleja (Longsdon, Hess y Horsley, 2002). No existe, por tanto, un sistema de tratamiento exclusivo para el lixiviado; por el contrario, se proponen normalmente numerosos métodos de tratamiento que se combinan e incluyen tratamiento biológico, precipitación química, absorción con carbón activado, sedimentación, flotación y filtración como tratamientos generales, y tratamientos específicos, tales como oxidación o reducción química, intercambio iónico, membranas, *stripping* y oxidación húmeda (Bueno, Sastre, Lavin, Fernández y Cuervo, 1995).

Por lo anterior, los resultados de estudios de mezclas con potencial coagulante para el tratamiento de lixiviados permitieron establecer la factibilidad de aplicar mezclas preparadas a base de almidón de plátano-sulfato de aluminio y arcillas con propiedades coagulantes para el tratamiento de lixiviados y en el tratamiento de aguas residuales industriales o municipales. Tales mezclas, por su menor costo, pudieran ser una opción de tratamiento físico en regiones en vías de desarrollo (Laines Canepa, Goñi Arévalo, Adams Schroeder y Camacho Chiu, 2008).

El desarrollo de coagulantes de bajo costo, aplicables en el tratamiento de lixiviados de aguas residuales municipales e industriales, podría significar incrementos en la eficiencia de este tipo de tratamientos en América

Latina. Se pretende demostrar que con el uso de almidón de plátano en combinación con coagulantes inorgánicos existe una alternativa para la reducción del alto consumo de coagulantes orgánicos y un posible sustituto de los polímeros sintéticos cuyos costos son caros.

Se estableció el potencial de coagulación-floculación de cuatro mezclas formadas con proporciones variables de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas. Para evaluar su efectividad de coagulación-floculación se emplearon muestras de lixiviado de un relleno sanitario regional con duración de operación intermedia (5-6 años), y se efectuaron testigos de coagulación mediante la aplicación de sulfato de aluminio y cloruro férrico aplicados de manera convencional. La viabilidad de las mezclas estudiadas representaría un ahorro significativo en los procesos convencionales de coagulación floculación en plantas de tratamiento de lixiviados o aguas residuales (Laines Canepa, Goñi Arévalo, Adams Schroeder y Camacho Chiu, 2008).

Por otra parte, estos inoculantes, las enzimas, las hormonas y los metabolitos secundarios sintetizados por ellos pueden ser utilizados como elicitores o efectores biológicos, contribuyendo, de esta manera, a una producción más limpia y sostenible en los sistemas agrícolas. Este proceso involucra varios aspectos a tener en cuenta: un cambio estructural de los compuestos orgánicos que posibilitan un eventual tratamiento biológico posterior, una oxidación parcial que redunde en una disminución de la toxicidad del efluente y/o una oxidación total de los compuestos orgánicos en sustancias inocuas que posibilitan una descarga segura del efluente sin necesidad de un posterior tratamiento (Méndez Novelo, García Reyes, Castillo Borges y Sauri Riancho, 2010).

Los inoculantes, las enzimas, las hormonas y los metabolitos secundarios sintetizados por ellos pueden ser utilizados como elicitores o efectores biológicos, contribuyendo, de esta manera, a una producción más limpia y sostenible en los sistemas agrícolas (Méndez Novelo, García Reyes, Castillo Borges y Sauri Riancho, 2010).

Teniendo en cuenta los autores que describen este tipo de tratamiento para los lixiviados se puede afirmar que es uno de los métodos más eficientes y seguros para el manejo de los residuos, tanto en la parte doméstica como en la parte industrial.

Manejo de lixiviados con aguas residuales

Uno de los problemas más importantes en el diseño y mantenimiento de rellenos sanitarios es el manejo de los lixiviados generados por la percolación del agua a través del suelo, los cuales representan un riesgo potencial para la salud de los ecosistemas y de la población (Salem, Hamouri, Djemaa y Allia, 2008). El agua residual doméstica —ARD— es un residuo líquido que por su alto contenido de materia orgánica biodegradable —alta relación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)₅/DQO— y adecuado nivel de nutrientes (relación DBO₅: N: P) puede ser tratada de una forma eficiente a través de procesos biológicos como los anaerobios, principalmente en países de clima tropical donde las condiciones de temperatura (mayor a 20 °C) son favorables para el adecuado desarrollo de los procesos anaerobios (Speece, 1996), (Foresti, 2002).

En cuanto al manejo de aguas residuales domésticas en los lixiviados, los resultados, en general, muestran que la incorporación de lixiviados al tratamiento anaerobio de ARD genera un impacto sobre este de tipo contaminante para el suelo y que es más notorio a medida que se incrementa el porcentaje del lixiviado (Torres Lozada, 2010).

El agua residual doméstica —ARD— es un residuo líquido que por su alto contenido de materia orgánica biodegradable —alta relación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)₅/DQO— y adecuado nivel de nutrientes (relación DBO₅: N: P) puede ser tratada de una forma eficiente a través de procesos biológicos como los anaerobios, principalmente en países de clima tropical donde las condiciones de temperatura (mayor a 20 °C) son favorables para el adecuado desarrollo de los procesos anaerobios (Speece, 1996).

En los rellenos sanitarios se generan básicamente dos subproductos: biogás y lixiviados; estos últimos son generados debido a la percolación de las aguas lluvias a través de los desechos y a las diversas reacciones bioquímicas que pueden ocurrir en el interior del relleno entre el contenido sólido y acuoso y pueden contener altas concentraciones de materia orgánica y otros compuestos que pueden aportar características tóxicas y representar un riesgo potencial para la salud, tanto de los ecosistemas comprometidos con su vertimiento como de las poblaciones humanas. En el tratamiento anaerobio, la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos potencialmente tóxicos es de gran importancia, principalmente la de aquellos que

inhiben los microorganismos encargados de la transformación final a metano, los cuales pueden estar presentes en el agua residual o ser producidos como metabolitos intermediarios de la degradación incompleta del sustrato (Torres, Barba y Pizarro, 2010).

Los sistemas anaerobios están ganando popularidad para el tratamiento tanto de aguas residuales industriales (ARI) como domésticas (ARD), siendo preferidos sobre otros sistemas debido a aspectos como bajos requerimientos de energía, menor producción de lodos y producción de biogás con alto contenido energético y de un efluente con alto contenido de nutrientes, adecuados para el uso agrícola (Torres, Barba y Pizarro, 2010).

A pesar de la indiscutible importancia económica, las industrias presentan problemas significativos de contaminación al ambiente. Algunas tipologías industriales, tales como textil, papel y celulosa, química, farmacéutica, entre otras, generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza principalmente refractaria. Además de que estos efluentes se reconocen por la capacidad de aumentar la cantidad de sustancias tóxicas lanzadas en los cuerpos de agua, afectando los ecosistemas acuáticos. Algunos efluentes industriales son ricos en materia orgánica disuelta, de la cual una parte es de difícil degradación y permanece reminiscente después del tratamiento por procesos biológicos (Tatiana, 2008) (Botelho, 2008) (Cleto, 2008).

En industrias de celulosa, los efluentes son altamente coloridos, debido principalmente a la presencia de lignina residual y compuestos organoclorados (reconocidos recalcitrantes). Un estudio reciente confirma que diferentes compuestos organoclorados están presentes en la composición de los efluentes de blanqueamiento de la pasta celulósica, entre los cuales se pueden citar: clorofenol, clorobenceno, cloroguaicol, dibenzofurano y dibenzodioxinas.

Según los mismos autores, los organoclorados se dividen en: alto peso molecular (HMW) y bajo peso molecular (LMW). Los compuestos de bajo peso molecular son los principales responsables por los efectos de mutagenicidad y bioacumulación, debido a su característica hidrofóbica y por la facilidad de penetrar en las membranas celulares de los seres vivos. Sin embargo, los componentes de HMW son generalmente inactivos biológicamente y tienen poca contribución en la toxicidad y mutagenicidad. De esta forma, la presencia de organoclorados en los efluentes es preocupante

debido a los grandes riesgos en términos de mutagénicos, cancerígenos y tóxicos provocados al ecosistema acuático (Cleto, 2008).

En función de este panorama, el vertimiento de efluentes industriales que contienen compuestos biorefractarios y organoclorados se ha convertido en un asunto de relevancia actual, debido principalmente a: recalcitrancia para la degradación biológica, toxicidad para las especies acuáticas, genotoxicidad y potencialidad de acumularse en los organismos. Ciertos estudios indicaron correlación positiva entre materia orgánica disuelta remanente en los efluentes de la industria de celulosa y la toxicidad ejercida sobre los organismos acuáticos (Cleto, 2008).

La utilización de procesos oxidativos avanzados con ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta para el tratamiento de efluentes industriales que contienen compuestos recalcitrantes representa una oportunidad para aumentar el grado de biodegradabilidad y alcanzar reducciones significativas de color. El uso de procesos biológicos en serie resultaría beneficioso para completar y/o mejorar la degradación de los compuestos remanentes, además de permitir cumplir con los estándares de calidad de la legislación ambiental cada vez más exigentes. Sin embargo, el alto consumo de energía y la posibilidad de generar intermediarios que sean más agresivos al medio ambiente que los compuestos originales continúa siendo su mayor desventaja, así como también el mayor reto a superar (Botelho, 2008).

De esta forma, se deben realizar más estudios para determinar las implicaciones de la aplicación de procesos oxidativos en aspectos tales como toxicidad, mutagenicidad, genotoxicidad, carcinogenicidad generada en los efluentes tratados. Igualmente se requieren estudios económicos para analizar la relación beneficio costo y consecuentemente la viabilidad económica para su aplicación a escala práctica (Tatiana, 2008).

Se concluye que el manejo de lixiviados de aguas residuales es la parte más compleja del manejo de desechos, ya que por su estado físico y el alto contenido de material tóxico genera el cuello de botella en cuanto al manejo general de los lixiviados en los ámbitos domésticos e industrial, siendo las industrias las que generan la mayor cantidad de aguas residuales por lo tanto la mayor contaminación al ecosistema.

Manejo de compostaje con lixiviados

La mayoría de las agroindustrias palmiteras tienen una alta tasa de generación de residuos sólidos, entre los cuales el 98% son biodegradables y el 2% no lo son. En la región del Trópico de Cochabamba, principal zona productora de palmito del país, dichas agroindustrias están interesadas en implementar procedimientos de transformación de residuos sólidos orgánicos que les permitan transformarlos en subproductos revalorizados, capaces de incorporarse a un circuito económico (Yañez, Levy y Azero, 2007).

El compostaje de residuos orgánicos es un proceso biológico de descomposición aeróbica que por acción de organismos mesófilos y termófilos conduce a la producción de un residuo estable, que puede ser utilizado como enmienda orgánica. Diferentes técnicas de compostaje han sido aplicadas para generar un producto revalorizado a partir de desechos domésticos e industriales, sin embargo, aún no se han desarrollado de manera suficiente los procedimientos y sistemas de control que permitan procesos de compostaje eficientes a nivel comercial. Esta deficiencia se debe a que las interacciones entre los diversos factores que intervienen en este proceso biológico son complejos y con un fuerte componente local, que no está aún bien definido ni comprendido, a pesar de los esfuerzos considerables que se han puesto en ello (Lugo, 1998). Algunos factores que han sido señalados como importantes para un adecuado control son la temperatura, humedad, aireación, pH y la relación C/N. Sin un seguimiento técnico de variables como éstas, el proceso de compostaje se torna artesanal y comienza a presentar problemas que dificultan en su continuidad. Lo que deriva baja calidad del producto y la poca comercialización y mercadeo de éste, limitando la implementación del compostaje en mayor escala en países en desarrollo como Colombia.

En este sentido, en un estudio realizado en el Ecuador se encontró que solamente el 14% de los proyectos realiza un control técnico durante el proceso de compostaje y que el 86% restante únicamente realiza control manual o empírico (Lugo, 1998). Esta forma de manejo determinó que el 25% de los proyectos no consigan cumplir con los objetivos planteados y el 87,5% no vendan el producto final por no cumplir con parámetros de calidad de abonos (Yañez, Levy y Azero, 2007).

Los beneficios más importantes identificados en la evaluación fueron que la técnica de compostaje en silos hiperventilados CSH permite obtener

un producto estable en un tiempo considerablemente menor al del compostaje convencional, no requiere de sistemas de volteo o aireación forzada y tiene la ventaja adicional de reducir la generación de lixiviado al presentar condiciones que favorecen la evaporación (Yañez, Levy y Azero, 2007).

El hombre con su actividad económica industrial y/o agrícola genera una gran cantidad de residuos que con frecuencia ocasionan importantes problemas ambientales por su almacenamiento y tratamiento inadecuado. Una de las actividades agroindustriales que genera grandes volúmenes de residuos con mayor impacto negativo en Suramérica es la relacionada con el beneficio del café; en este continente se encuentran dos de los mayores productores de café a nivel mundial: Brasil y Colombia. De las cosechas de café resultan miles de toneladas de residuos, pulpa o cereza mucilago, así como el pergamino (cascarilla), los cuales tienen gran potencial contaminante.

El manejo de la pulpa de café ha sido uno de los más difíciles siendo el desecho de mayor volumen, que se acumula por periodos largos y conlleva a la generación de malos olores, siendo un medio propicio para la reproducción de moscas y otras plagas responsables de múltiples enfermedades. Por esto, un uso práctico de los subproductos es la elaboración de abono orgánico que aporta nutrición a los cafetales y suelos de los cultivos en las áreas rurales (Vásquez de Díaz, Fuentes y Cote, 2010).

En 2008, Colombia, como primer exportador mundial de café suave, produjo un promedio de 12.524 de sacos de café, cada uno de 60 kg, lo que significó un volumen tanto sólo del 20% de parte utilizable, lo que produjo un total de 3.005 toneladas de pulpa del café correspondiente al 80% de desechos, lo cual generó un problema ambiental y económico para los agricultores. De 12.524 de sacos de café, cada uno de 60 kg, lo que significó un volumen tanto sólo del 20% de parte utilizable, lo que produjo un total de 3.005 toneladas de pulpa del café, correspondiente al 80% de desechos, lo cual generó un problema ambiental y económico para los agricultores del grano (Vasquez de Diaz, Fuentes y Cote, 2010).

Por estas razones, y con el fin de disminuir el efecto negativo del proceso biológico aeróbico de la pulpa del café, se ha empleado la técnica del compostaje mediante la cual, los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable y que producen mayor cantidad de nutrientes. Este proceso tarda normalmente de 5 a 9 meses, tiempo en el cual se alcanza el grado

de madurez al realizar la biotransformación, mineralización o degradación completa de la pulpa del café. La descomposición total de las moléculas orgánicas en dióxido de carbono, residuos inorgánicos inertes o minerales se incorporan de nuevo a la estructura del suelo para ser asimilados por microorganismos y plantas (Vasquez de Diaz, Fuentes y Cote, 2010).

De acuerdo con lo analizado, se observa que la aplicación del compostaje de bio- residuos de origen municipal muestra diferentes alcances en los países desarrollados y en desarrollo. En Colombia, el posicionamiento del compostaje requiere avanzar en temas que ya han sido abordados en países desarrollados. Los aspectos que se consideran estratégicos son los que se describen a continuación.

Separación en la fuente y recolección selectiva

Es indispensable la instauración de prácticas que reduzcan la contaminación de los bioresiduos, previa al proceso. El establecimiento de estrategias educativas de carácter nacional y local y la incorporación en la normativa de la obligatoriedad tanto de la separación en la fuente para los usuarios como de la recolección selectiva para los prestadores del servicio podrían aumentar las posibilidades de éxito en la implementación de estas prácticas. El desarrollo de programas y el reconocimiento económico al usuario dentro de la tarifa por el servicio de aseo pueden ser efectivos en acciones tendientes para el aprovechamiento de elementos reutilizables.

La reglamentación sobre políticas de reducción de bioresiduos a ser dispuestos en rellenos sanitarios, la aplicación de mayores tarifas para la disposición de estos y el reconocimiento del costo del aprovechamiento en el marco tarifario podrían estimular el desarrollo de opciones como el compostaje (Torres Lozada, 2010).

Discusión

Para el manejo de los lixiviados se utilizan muchos tipos de tratamiento y distintas combinaciones de estos (Kargi, 2003). Debido a su fiabilidad, simplicidad y una conveniente relación costo beneficio, los tratamientos biológicos son comúnmente usados para remover la DBO (demanda biológica de

oxígeno) de los lixiviados, en particular, si se trata de procesos biológicos aeróbico, estos además pueden nitrificar el nitrógeno amoniacal (Renou, 2008).

Ante este tratamiento aún no se conocen cifras derivadas de la investigación sobre el impacto que se genera en todo el proceso de sus combinaciones y su degradación en los sustratos con mezclas de ARD (agua residual domestica) y lixiviados se ve que, a medida que el porcentaje en volumen del lixiviado se incrementa, ocurre un aumento de la DQO (demanda química de oxígeno) resistente, alcanzando valores de 27, 47 y 51% para los porcentajes de 10, 20 y 30% de lixiviado, respectivamente.

Valores por encima del 20% fueron similares al hallado para el lixiviado puro (54%), indicando que para porcentajes iguales o superiores al 20% la inhibición es significativa y tan compleja como la degradación del lixiviado puro. En términos generales, la DQO resistente se asocia a la presencia de sustratos complejos que no son degradados debido a que la biomasa anaerobia aún no se encuentra adaptada, o a la presencia de compuestos biológicamente inertes.

Estas proporciones pueden ser mayores cuando se efectúa un pretratamiento al lixiviado como la absorción con carbón activado (Barba, Torres, Rodríguez Victoria, Marmolejo y Pizarro, 2010). Por otro lado, los residuos sólidos urbanos, los (RSU), poseen una elevada fracción orgánica de materia y la forma técnicamente más aceptadas la de los rellenos sanitarios, los cuales generan dos tipos de subproductos, biogás y lixiviados (Shekdar, 2009). Estos últimos contienen una alta concentración de materia orgánica, cuya cantidad de composición varía en función de los aspectos, como la composición de residuos, las condiciones socioeconómicas, el clima y la hidrología del sitio, tipo y edad del relleno, área rellena, el grado de compactación, la cantidad de filtración, el sistema de drenaje e impermeabilización (Shekdar, 2009).

En los tratamientos coagulación-floculación y flotación se basan en la remoción de partículas suspendidas, por lo que la eficiencia esperada en estos tratamientos es baja, incluso en aquellos lixiviados con 34%, llegaron a conclusiones similares, en lo referente a tratamientos fisicoquímicos, al estudiar la relación entre la distribución de los tamaños de las partículas contaminantes con la tratabilidad de aguas residuales (Levine, 1996).

Se puede decir que en la actualidad existen algunas industrias que presentan un alto potencial contaminante debido a que sus procesos en producción generan gran cantidad de volumen de afluentes refractarios, ya que son un problema principalmente por la cantidad de compuestos recalcitrantes que son perjudiciales en el tratamiento de aguas residuales, y que utilizan sistemas biológicos principalmente.

Conclusiones

En cuanto al manejo de lixiviados con inoculantes podemos decir que es una de las técnicas más utilizadas en la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales principalmente en sitios con alto poder contaminante de lixiviados lo que se hace necesario darles un manejo con productos químicos tales como el Fenton, peróxido de hidrógeno, entre otros.

El manejo de lixiviados, a pesar de ser un problema muy complejo, en general ha tenido cambios representativos y tienen cada día mayor aceptación por las comunidades, las cuales preocupadas por el aprovechamiento de los recursos naturales existentes de ciertas regiones donde manejan los lixiviados de aguas residuales, permiten aplicar mezclas preparadas como las de tratamiento a base de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas con propiedades coagulantes para el tratamiento de lixiviados en el tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales. Tales mezclas, por su menor costo, pueden llegar a ser opción de tratamiento en regiones en vía de desarrollo.

En Colombia, la Política Nacional de Residuos Sólidos ubicó al aprovechamiento de residuos como una estrategia base en la jerarquía para la gestión de los residuos sólidos. En el caso de los RSM, su aplicación formal se ha venido materializando a través de plantas de manejo de residuos sólidos (PMRS), cuyo funcionamiento se ha orientado hacia el aprovechamiento y valorización de la mayor cantidad posible de residuos.

De los residuos sólidos municipales (RSM) Los bioresiduos son la fracción más alta y de mayor potencial de contaminación; el compostaje permite disminuir el impacto ocasionado por su manejo y contribuye con la sostenibilidad de la producción agrícola.

Otro de los beneficios identificados es el manejo de lixiviados por compostaje, la cual es una técnica natural que permite obtener un producto estable con características netamente orgánicas. La técnica de compostaje se utiliza en el ámbito doméstico e industrial. Sin embargo, esta técnica no se ha desarrollado satisfactoriamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo, B. (2004). Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Stabilized leachates J. Haz. Mat.* 116, 95-102. Recuperado de http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Schroeder, A. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 22-28. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n1/art06.pdf>
- Amokrane, A., Comel, C. y Veron, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Res.* 31, 2775-2782. Recuperado de <http://www.benthamscience.com/open/toenviej/articles/V003/42TOENVIEJ.pdf>. consultado 12 Noviembre 2012.
- Andrea, L. (2010). Aceleración del compostaje en residuos post cosecha del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista Ciencias Biológicas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509002>
- Azero, A. M. (2007). Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. *Revista Acta Nova*, 720-735. Recuperado de <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php>
- Barba, L. (2010). Influencia de la incorporación de lixiviados sobre la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales domésticas. *Revista de ingeniería e investigación*. Recuperado de <http://www.scielo1.unal.edu.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a13.pdf>
- Beltrán, F. (2004). Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Stabilized leachates J. Haz. Mat.* 116, 95-102. http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Bertazzoli, R. (2005). Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. *Chemosphere*, 41-46. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000100003&lng=en&nrm=isoy ignore=.html
- Botelho, D. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza

- recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia*, 24-38. http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro046/46_03.pdf
- Bueno, J. (1995). Degradación del suelo y tratamiento de residuos. *Contaminación e ingeniería ambiental*. Tomo IV, 422. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100002y script=sci_arttext
- Camacho Chiu, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 22-28. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n1/art06.pdf>
- Carvalho, F. (2004). Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Stabilized leachates*. *J. Haz. Mat.* 116, 95-102. http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Castillo Borges, E. R. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Revista de ingeniería e investigación*, 80-85. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>
- Cleto, E. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia*, 24-38. http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro046/46_03.pdf
- Cote, E. (2010). Aceleración del compostaje en residuos post cosecha del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista Ciencias Biológicas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509002>
- Deng, N. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf
- Djemaa, R. (2008). Evaluation of Landfill Leachate Pollution and Treatment. 2008 . *Desalination*, Vol. 220. Recuperado de http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/anzen_kiban/outcome/Proceedings_for_Web/Topics_3-03.pdf
- Faridah, A. (2007). Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresour. Technol*, 218-220. <http://www.ipcbee.com/vol12/43-C20022.pdf>
- FG., P. (1999). In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors. *Water Sci. Technol*, 203-210. http://ehome.konetic.or.kr/pds_update/f1_abfgram20120725102601.pdf
- Foresti, E. (2002). Anaerobic Treatment of Domestic Sewage: Established Technologies and Perspectives. . *Water Science and Technology*, Vol. 45, No. 10, 181-186. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/leeds/foresti.pdf> .

- Fuentes, B., (2010). Aceleración del compostaje en residuos post cosecha del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista Ciencias Biológicas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509002>
- Giácoman Vallejos (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Revista de ingeniería e investigación*, 80-85. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>
- Gimeno, O. (2004). Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Stabilized leachates*. *J. Haz. Mat.* 116, 95-102. Recuperado de www.quimica.ufpr.br/tecnotrater/artigos
- Goñi Arévalo (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 22-28. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n1/art06.pdf>
- Hamidi, A. (2007). Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresour. Technol*, 218-220. <http://www.ipcbee.com/vol12/43-C20022.pdf>
- Hamouri, K. (2008). Evaluation of Landfill Leachate Pollution and Treatment. 2008 . *Desalination*, Vol. 220. Recuperado de http://www.rrri.kyoto-u.ac.jp/anzen_kiban/outcome/Proceedings_for_Web/Topics_3-03.pdf
- Horsley, M. (2002). Guía para la selección de procesos de tratamientos de agua. 1ª ed. McGraw Hill, 131. Recuperado de <http://cinara.univalle.edu.co/archivos/pdf/35.pdf>
- Karadag, 2007. Ammonium removal from Sanitary Landfill Leachate using Natural Gördes Clinoptilolite, *Journal of Hazardous Materials*, 08 - 019. Recuperado de <http://www.emec.licp.cas.cn/kycg/2009/201207/W020110418555192814258.pdf>
- Kargi, F. (2003). Powdered Activated Carbon Added Biological Treatment of Pre-Treated Landfill Leachate in a Fed-Batch Reactor. *Biotechnology Letters*, 25, 695-699. http://psp.sisa.my/elibrary/attachments/392_2Powdered.pdf
- Kim, J. (1999). In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors . *Water Sci. Technol.* , 203-210. http://ehome.konetic.or.kr/pds_update/f1_abfgram20120725102601.pdf.
- Laines (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 22-28. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n1/art06.pdf>
- Levine, I. (1996). Influencia de la temperatura y de la humedad relativa. *Fisicoquímica. Volumen 2*. Recuperado de <http://bivia.inca.edu.cu/document/pd/09496310.pdf> .
- Levy, M. A. (2007). Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del

- Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. *Revista Acta Nova*, 720-735. Recuperado de [http://boletincientifico.ucaldas.edu.co/downloads/Boletin\(16\)1_6.pdf](http://boletincientifico.ucaldas.edu.co/downloads/Boletin(16)1_6.pdf)
- Lin, Y. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf
- Longsdon, G. (2002). Guía para la selección de procesos de tratamientos de agua. . 1ª ed. McGraw Hill, 131. Recuperado de <http://cinara.univalle.edu.co/archivos/pdf/35.pdf>
- Lugo, S. (1998). Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador. *Fundación Natura-REPAMAR-CEPIS-GTZ*. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/889/1/80867.pdf>
- Matis, K. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53, 737-744. http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Méndez Novelo (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Revista de ingeniería e investigación*, 80-85. Recuperado de <http://horus.psa.es/webeng/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
- Mohd, N. (2007). Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresour. Technol*, 218-220. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Moraes, P. y Bertazzoli, R. (2005). Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. *Chemosphere*, 41-46. Recuperado de <http://econexuszpt.com/pdf/Chemosphere-Three%20D-Leachate.pdf>
- Moraes, P. (2005). Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. *Chemosphere*, 41-46. Recuperado de <http://econexuszpt.com/pdf/Chemosphere-Three%20D-Leachate.pdf>
- Ntampou, X. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere* 62, 722-730. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Ortiz, I. (2007). Photo-Fenton Process as an Efficient Alternative to the Treatment of Landfill Leachate. *Journal of Hazardous Materials. jhazmat*. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Pizarro, C. (2010). Mitigación de la toxicidad anaerobia de lixiviados mediante mezclas con agua residual doméstica. *Revista Facultad de Ingeniería universidad de Antioquia*, 64-74. Recuperado de

- <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7021/2/114220.pdf>
- Pohland, F. (1999). In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors. *Water Sci. Technol.*, 203-210. http://ehome.konetic.or.kr/pds_update/f1_abfgram20120725102601.pdf
- Pohland. (1986). Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills. *Water Science and Technology*, 177-192. Recuperado de <http://aem.asm.org/content/55/1/55.full.pdf>
- Primo, O. (2007). Photo-Fenton Process as an Efficient Alternative to the Treatment of Landfill Leachate. *Journal of Hazardous Materials jhazmat*. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Renou, S. (2008). Landfill Leachate Treatment. *Review and Opportunity, Journal of Hazardous Materials* 150(3), 468-493. Recuperado de http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ROBINSON%202005%20Landfill%20Leachate%20Treatment%20MBR.pdf
- Renou, S. (2008). Landfill Leachate Treatment. *Review and Opportunity, Journal of Hazardous Materials* 150(3), 468-493. Recuperado de http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ROBINSON%202005%20Landfill%20Leachate%20Treatment%20MBR.pdf
- Rivas, J., (2004). Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Stabilized leachates. J. Haz. Mat.* 116, 95-102. http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Rivero, M. (2007). Photo-Fenton Process as an Efficient Alternative to the Treatment of Landfill Leachate. *Journal of Hazardous Materials jhazmat*. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Salem, Z. (2008). Evaluation of Landfill Leachate Pollution and Treatment. 2008. *Desalination*, Vol. 220. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Samaras, P. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere* 62, 722-730. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>
- Santos Ocampo, B. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Revista de ingeniería e investigación*, 80-85. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>
- Sauri Riancho, M. R., (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Revista de ingeniería e investigación*, 80-85. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>

- Shekdar, A. (2009). Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. . *Waste Management*, vol. 29, núm. 4, 1438-1448. Recuperado de http://slunik.slu.se/kursfiler/TN0280/20155.0910/Zurbrugg_waste_dev_.pdf
- Speece, R. (1996). Anaerobic Biotechnology for the Industrial Wastewaters. *Archae Press (Ed.) Vanderbilt University*, 394. http://www.indiaenergyportal.org/files/Anaerobic%20reactors_Paper.pdf
- Speece, R. (1996). Anaerobic Biotechnology for the Industrial Wastewaters. *Archae Press (Ed.) Vanderbilt University*, 394. Recuperado de http://www.indiaenergyportal.org/files/Anaerobic%20reactors_Paper.pdf
- Tao, T. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf
- Tatiana, R. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia* , 24-38. Disponible en : http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro046/46_03.pdf
- Tatsi, A. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53, 737-744. http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue4/LM2419291934.pdf
- Torres Lozada, P. (2010). Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas. *Revista de ingeniería universidad Bogota*, 313-326. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47715443006>
- Vásquez de Díaz, M. (2010). Aceleración del compostaje en residuos post cosecha del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista Ciencias Biológicas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509002>
- Wang, Z. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf
- Yañez, Q. (2007). Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. *Revista Acta Nova*, 720-735. Recuperado de <http://scielo>
- Zhang, Z. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf

Zhuo, K. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *J. Haz. Mat.* 95, 153-159. Recuperado de http://applications.emro.who.int/imemrf/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng/Iran_J_Environ_Health_Sci_Eng_2010_7_3_253_258.pdf

Zouboulis, A. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere* 62, 722-730. Recuperado de <http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>

Disposición y manejo de residuos y riesgos biológicos intrahospitalarios en Colombia y su impacto en el medio ambiente

*Disposal and Waste Management and
Colombia Biohazards Intrahospital
and Its Impact on the Environment*

Sandra Patricia Ovalle Hernández

Fundación Universitaria del Área Andina

Sonia Mabel Pachón Robayo

Fundación Universitaria del Área Andina

Sandra Patricia Veloza Herrera

Fundación Universitaria del Área Andina

RESUMEN

Una correcta disposición de los residuos hospitalarios permite llevar al mínimo los riesgos a la salud humana y al medio ambiente, mejorando así la calidad de vida tanto de los seres humanos como la del medio. En la actualidad el buen manejo de los residuos hospitalarios está constituyéndose en una prioridad, no sólo del Ministerio del Medio Ambiente y del Ministerio de Salud de cada país, sino que se concibe como la manera más eficiente de sanear el entorno para evitar en lo posible el contagio y aparición de nuevas enfermedades que finalmente terminan atentando contra la vida en todos los aspectos, convirtiéndose de esta forma en un interés mundial, generando una conciencia ambiental y personal.

Existen empresas de carácter privado dedicadas a prestar el servicio de recolección y transporte de los residuos intrahospitalarios y que contribuyen con la mitigación y control de los riesgos sanitarios y ambientales que representan los residuos, que ofrecen un completo sistema de recolección, transporte e incineración de estos y de la disposición final de sus cenizas en celdas de seguridad, garantizando así que la gestión externa de los desechos se realice integralmente y dentro de los principios de bioseguridad,

prevención, precaución y minimización de riesgos para la salud pública y del medio ambiente, de acuerdo con las disposiciones de las normas internacionales.

Cabe señalar que el manejo integral de los residuos intrahospitalarios en las instituciones de salud constituye una herramienta fundamental en la intervención del factor de riesgo biológico, siendo su abordaje bastante complejo y de gran responsabilidad para cada uno de los participantes en el proceso de estas instituciones, pues los residuos interactúan de manera dinámica con el resto de condiciones del ambiente de trabajo, generando momentos críticos en los procesos, durante los cuales se pueden presentar accidentes, enfermedades profesionales, se empeoran las enfermedades comunes y se contribuye al aumento de las infecciones intrahospitalarias, afectando a los trabajadores de la salud, pacientes, personal en formación, visitantes y a la comunidad y ambiente en general. Finalmente, se puede decir que una buena política en el tema de los residuos intrahospitalarios es ceñirse a las directrices que éstas indican para obtener un medio ambiente más sano que respalde la salud de todos los que en él habitan y que de él dependen.

Palabras clave: medio ambiente, riesgo biológico, desechos hospitalarios, clasificación de desechos, Convenio de Estocolmo, disposición final, reciclaje.

ABSTRACT

A correct disposition of the hospitable residues allows taking to the minimum the risks to the human health and to the environment, improving this way the quality of life so much of the human beings as that of the environment. At present the good managing of the residues hospitable is constituting in one of the priorities not only of the Department of the Environment and of the Department of Health of every country, but the environment is conceived as the way more efficient of clear to avoid in possible the contagion and appearance of new diseases that finally end up by committing an outrage against the life in all the aspects, turning hereby a world interest, generating an environmental and personal conscience. There are private companies character engaged in providing the service of collection and transportation of waste-hospital and that contribute to the mitigation and monitoring of health and environmental risks posed by waste, providing a complete system of collection, transportation and incineration of the same and the final disposition of his ashes in a security cell, ensuring

that the external management of waste is carried out fully and within the principles of biosecurity, prevention, precaution and risk minimization for public health and the environment accordance with the provisions of international standards. It should be noted that the integrated waste management in-hospital health institutions, is an essential tool in risk factor intervention biological, and its approach rather complex and responsible for each of the participants in the process of these institutions, the residues interact dynamically with the other conditions of the work environment, generating critical moments in the process, during which they can have accidents, occupational diseases, common diseases worsen and contribute to the increase of nosocomial infections, affecting health workers, patients, staff formation, visitors and the community and environment in general. Finally, we can say that a good policy in-hospital waste issue is to stick to the guidelines that they suggest to get a healthier environment that supports the health of all who live in it and depend on it.

Key Words: environment, biohazard, hospital waste, waste classification, Stockholm Convention, final disposal, recycling.

Introducción

Los residuos producidos por la actividad humana y las necesidades vitales de los habitantes de la ciudad constituyen hoy un grave problema ambiental, no sólo en sí mismos, sino también por los problemas que generan su eliminación o transformación. En muchos lugares, especialmente en los países industrializados, la capacidad de eliminación de esos residuos se ha salido de las manos, uniéndose a los problemas de contaminación que llevan al medio ambiente a situaciones casi irreversibles. Una aparente solución ha sido la de exportar esos residuos hacia países del Tercer Mundo, donde las leyes medioambientales poseen escasa fuerza o son nulas.

Estas exportaciones proporcionan unos ingresos monetarios importantes para estos países, pero al mismo tiempo, suponen una trampa mortal para sus poblaciones, sin medios de protección frente a los efectos nocivos o mortales de muchos de esos residuos (Sabini Fernández, 2010). Como ésta no es una solución real, se considera de gran importancia dar a conocer la correcta manipulación de desechos, en especial de los hospitalarios, y cómo estos afectan directamente al medio ambiente, al igual que la normatividad principal que rige a todos los países, para disminuir el riesgo de contaminación ambiental y contagio con patógenos peligrosos, brindando una orientación e información adecuada y de conocimiento amplio sobre los riesgos para la salud y el ambiente que se corren al no conocer las rutas de manejo y normas disponibles en el correcto manejo de los residuos intrahospitalarios, por su inadecuada clasificación.

Por todo esto, en las diversas instituciones a nivel mundial se han ido creando diversos planes de acción para minimizar los factores de riesgo a la salud no sólo de las personas, sino del ambiente en general. En la actualidad un porcentaje considerable de los residuos generados en los servicios de salud y similares, especialmente en las salas de atención de enfermedades infectocontagiosas, salas de emergencia, laboratorios clínicos, bancos de sangre, salas de maternidad, cirugía, morgues, radiología entre otros, siendo los residuos peligrosos por su carácter infeccioso, reactivo, radioactivo e inflamable, que si no se les trata adecuadamente, se convierten en un problema grave de salud no sólo para las personas, sino para el ambiente (Ingeambiente del Caribe, 2012).

Los centros de atención de salud son los encargados de reducir y prevenir los problemas de salud de la población. Estos establecimientos generan residuos que presentan riesgos potenciales de peligrosidad y cuyo inadecuado manejo puede tener serias consecuencias para la salud de la comunidad hospitalaria, del personal encargado del manejo externo de los residuos y de la población en general.

El inadecuado manejo de los residuos sólidos hospitalarios tiene impactos ambientales negativos que se evidencian en la segregación, almacenamiento, tratamiento, recolección, transporte y disposición final. Las consecuencias de estos impactos no sólo afectan la salud humana sino también a la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas; a lo cual se suma el deterioro estético del paisaje natural y de los centros urbanos. Debido a que tradicionalmente la prioridad de un centro de salud ha sido la atención al paciente, se ha restado importancia a los problemas ambientales que podría causar, creándose en muchos casos un círculo vicioso de enfermedades derivadas del mal manejo de los residuos que terminan en su mayoría en vertederos (Monge, 1997).

Los vertederos incontrolados constituyen un foco de contaminación importante que tiene multitud de efectos secundarios. No sólo suponen un riesgo sanitario al favorecer la presencia de animales como las ratas, transmisoras de enfermedades, sino que sus filtraciones llegan a los depósitos de agua contaminándolos, a veces de modo irreparable. Una buena solución la constituye el reciclaje de estos residuos, ya sea para utilizarlos como combustible, como componentes de nuevos productos o para la obtención de unas materias primas cada vez más escasas, como pueden ser los metales, convirtiéndose ésta en una actividad importante regulada en muchos países. Por ejemplo, en Colombia, de acuerdo con los estudios realizados, el 40% aproximadamente presenta características infecciosas; pero debido a su inadecuado manejo, el 60% restante se contamina, incrementando los costos de tratamiento, los impactos y los riesgos sanitarios y ambientales (Ministerios de Salud y del Medio Ambiente), pudiendo evitarse, al desarrollar programas de información y capacitación para no seguir incurriendo en estos errores de mal manejo y disposición de los desechos (Bogotá, 2005).

Objetivo

El presente artículo da a conocer el correcto manejo y disposición de los residuos y riesgos biológicos hospitalarios, resaltando el tema de salubridad.

Método

Para la realización de este artículo se revisaron veinticinco documentos acerca de la correcta disposición y manejo de los desechos, haciendo énfasis en los desechos intrahospitalarios, teniendo como base la búsqueda, selección y análisis de dicha información.

En la búsqueda se tomaron en cuenta las siguientes fuentes: dos artículos de revistas científicas, un informe, diez manuales, guías y planes de gestión ambiental de varias instituciones nacionales que prestan servicios de salud, ocho páginas web, así como un reportaje de periódico de circulación nacional como lo es *El Espectador* y las diferentes normas legales vigentes en Colombia que se publicaron en dos ejemplares del Diario Oficial de la República de Colombia, mediante el cual se dan a conocer las novedades, cambios y actualizaciones de los decretos, leyes y demás regulaciones normativas establecidas en el territorio nacional.

Para su organización y mejor comparación se utilizaron dos matrices que permitieron realizar un análisis de cada fuente para poder documentar las más apropiadas en la elaboración de este artículo.

Riesgos biológicos intrahospitalarios

Se puede definir como riesgo biológico el conjunto de microorganismos, toxinas, secreciones biológicas, tejidos, órganos corporales humanos, animales y vegetales. Están presentes en determinados ambientes laborales, que al entrar en contacto con el organismo pueden desencadenar enfermedades infectocontagiosas, reacciones alérgicas o también intoxicaciones.

Durante la década de los noventa comenzó a visualizarse una preocupación por el manejo y el destino de estos residuos, entre otras razones por el advenimiento del SIDA (Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida) como un problema en la atención de salud. Esto llevó a la sanción de leyes y decretos que ordenaban la gestión, imponiendo criterios para su manejo intra y

extramuros para evitar en lo posible contagios masivos y que se salieran de control. También se hizo notable que el correcto tratamiento de estos residuos era y es bastante más caro que el de los desechos comunes, por lo que muchos optaron por no separar adecuadamente los desechos de acuerdo a su peligrosidad. De allí se desprende una de las razones para la necesidad de minimizar la producción de estos, en función de disminuir los costos y optimizar los procesos (Olivetto, 2007).

Clasificación de los residuos

La clasificación de los residuos hospitalarios es unánime a nivel mundial de acuerdo con la OMS, siendo:

- **Residuos no peligrosos:** no presentan riesgos para la salud humana y/o el medio ambiente. Estos se clasifican a su vez en: Biodegradables. Son los residuos naturales que al interactuar con el medio ambiente se desintegran sin causar alteraciones a este; como los vegetales, alimentos, papel higiénico, jabones o detergentes y otros residuos que pueden ser transformados fácilmente en materia orgánica. Reciclables. Los residuos reciclables no se descomponen fácilmente pueden someterse a un proceso de reciclaje donde se aprovechan para ser transformados. Los residuos sólidos recuperados se convierten en materia prima para la fabricación de nuevos productos. Los elementos reciclables son: papel, plástico, vidrio, radiografías, entre otros. Inertes. Su degradación natural no permite la transformación en materia prima, requiere de grandes periodos de tiempo. Se pueden nombrar algunos como el icopor, papel carbón y algunos plásticos. Ordinarios o comunes. Son los generados en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, sala de espera y en general en todos los sitios de la entidad hospitalaria.
- **Residuos peligrosos:** pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente, ejemplo: Infecciosos, combustibles, explosivos, reactivos, radioactivos, corrosivos o tóxicos, contienen bacterias, parásitos, virus y hongos, así como toxinas que pueden producir infec-

ción. A su vez se clasifican en: Infecciosos. Los residuos infecciosos desencadenan una contaminación biológica debido a la presencia de microorganismos patógenos (bacterias, parásitos, virus, hongos) que pueden llegar a producir algún tipo de enfermedad infecciosa y se dividen según su composición en biosanitarios, anatomopatológicos, cortopunzantes.

- **Biosanitarios:** han estado en contacto con los fluidos del paciente, por ejemplo, guantes, sondas, laminas (Ministerio de Medio Ambiente, 2003)
- **Clasificación de residuos anatomopatológicos:** restos humanos. Ejemplo: biopsias, fluidos, restos exhumados, cirugías u otros, incluyendo muestras para análisis. Corto punzantes. Elementos que por sus características cortantes pueden dar origen a un accidente con riesgo biológico. Los más usados en las instituciones de salud son: hojas de bisturí, cuchillas, agujas, ampollas de vidrios. Químicos. Son residuos que debido a su composición y dependiendo de su concentración, tiempo de exposición pueden causar la muerte, lesiones graves, efectos nocivos para la salud o el medio ambiente; estos se clasifican en: fármacos parcialmente consumidos, residuos cito tóxicos, metales pesados, reactivos, contenedores presurizados (Ambiente, 2000).

Manejo y disposición de los desechos intrahospitalarios

El manejo de Residuos Peligrosos Biológico-Infeccioso (RPBI) que se generan en los consultorios y hospitales consta de siete fases: Identificación de los residuos; Envasado de los residuos generados; Recolección y transporte interno; Almacenamiento temporal; Recolección y transporte externo; Tratamiento; Disposición final (López Vilca, 2011).

Los residuos sólidos como las gasas, guantes, tapa bocas, pañuelos desechables, protectores corporales, algodones y demás que hayan entrado en contacto con fluidos corporales deben desecharse en bolsas rojas resistentes, impermeables, selladas, para prevenir el goteo de lo que allí se

contiene, desechándose luego, de acuerdo a lo descrito en la norma vigente según cada país.

Un aspecto importante a considerar: al evaluar las implicaciones de una producción excesiva de desechos, así como su manejo inadecuado de estos, es que el planeta en el que vivimos tiene unas dimensiones definidas, y estas al no ser infinitas, pueden superar su capacidad de asimilación, de manera que todos los contaminantes y residuos que se vierten al ambiente, permanecerán de alguna manera en él, contaminando paulatinamente los recursos renovables y no renovables. Entonces, es preocupante que se rebase la capacidad de acumulación, degradación y reciclaje propio de la naturaleza.

La concepción humana de que nada se agota es la que no permite frenar el exceso de desechos que generalmente rebasan la cantidad máxima permitida por la reglamentación existente en cada país y de acuerdo con el Convenio de Estocolmo que establece las directrices a seguir para regular constantemente el aumento en la producción de estos para tratar de mantener el equilibrio de los establecimientos prestadores de servicios de salud y el medio ambiente. Lamentablemente, esto no hace parte de la realidad actual, pues aquí como en cualquier otro país, se salta la ley existente, debido a que los intereses que se mueven son mayores a la conciencia de mantener un medio ambiente sano para todos (Salud sin daño, 2007).

Riesgo para el medio ambiente

Los residuos infecciosos, especialmente los cortopunzantes, presentan un riesgo para quienes puedan entrar en contacto con ellos. De acuerdo con las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 40% de los casos de hepatitis y el 12% de los casos de VIH en el mundo se deben a la exposición en el ámbito de trabajo (Salud sin daño, 2007).

Los hospitales también generan residuos químicos, farmacéuticos y radioactivos, todos ellos en pequeñas cantidades, que requieren un manejo especial. Por otra parte, en los hospitales también se generan grandes cantidades de residuos comunes como envases, papel, comida, etc., que pueden llegar a representar alrededor del 80% de la corriente de residuos. Un hospital de gran tamaño puede producir hasta una tonelada de residuos por día (Salud sin daño, 2007).

En muchos hospitales de países en desarrollo, todos estos residuos se mezclan y queman en incineradores de baja tecnología y alto grado de contaminación, o bien a cielo abierto sin ningún tipo de control. Hoy en día se sabe que la incineración de residuos hospitalarios genera grandes cantidades de dioxinas, mercurio y otras sustancias contaminantes. Estas sustancias van a parar al aire donde pueden llegar a transportarse por miles de kilómetros y contaminar el medio ambiente a escala mundial, o terminan siendo cenizas, que en general se desechan sin tener en cuenta la carga de contaminantes tóxicos persistentes que contienen (Salud sin daño, 2007).

Aún está a disposición baja tecnología para eliminar desechos, ya que resulta más económico y por tanto, no cumplen con los requisitos mínimos para evitar que se propaguen elementos contaminantes y nocivos para el medio ambiente, lo que aumenta la contaminación y propagación de enfermedades a largo y corto plazo, siendo una alta incidencia en enfermedades infectocontagiosas graves como el SIDA o la hepatitis C (Ministerio de Medio Ambiente, 2003), (Salud sin daño, 2007).

Sería ideal poner al alcance de las empresas recolectoras y que disponen finalmente de los residuos hospitalarios tecnología de punta a un costo de fácil alcance, o por lo menos que se pueda cubrir para disminuir en un gran porcentaje la contaminación ambiental, dando mayor seguridad para la salud de las personas y medio en general.

Eliminarlos es difícil por los altos costos. El Método de Esterilización de Residuos Médicos Contaminados es uno de los más aceptados por sus bajos costos, por ser amigable con el medio ambiente y porque permite manejar grandes volúmenes, los cuales son posteriormente reducidos y transformados en desechos domésticos normales totalmente estériles.

Aspectos legales

El Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) es un acuerdo internacional que regula el tratamiento de las sustancias tóxicas. Fue firmado en 2001 en Estocolmo y entró en vigor el 17 de mayo del 2004. Inicialmente el convenio regulaba doce productos químicos incluyendo productos producidos intencionadamente, tales como:

pesticidas, PCBs; dioxinas y furanos. Actualmente hay 172 países que han ratificado el convenio (Convenio de Estocolmo, 2004).

El Convenio de Estocolmo ha sido firmado por 151 países. Estos incluyen la mayoría de los países “desarrollados” con excepción de los Estados Unidos de América. En América Latina, al menos los siguientes países han ratificado el Convenio: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

En cada país los organismos reguladores son el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Salud correspondiente, mediante normas que expresan rigurosamente el correcto manejo de residuos hospitalarios. En Colombia se regula mediante el Decreto 2676 de 2000.

Además de las instituciones gubernamentales, las siguientes entidades formales e informales han estado y están vinculadas al manejo de los residuos sólidos en diferentes países:

- **Sector privado:** constituido por empresas o individuos que actúan como contratistas o concesionarios (intermediarios) de las operaciones de los servicios de aseo urbano en forma total o parcial, o por firmas consultoras dedicadas a la preparación de proyectos de ingeniería, asesoría técnica y gerencial, estudios de factibilidad, y estudios de impacto ambiental (Ingeambiente del Caribe S.A. E.S.P., 2012). En varios países existe capacidad empresarial nacional y en otros se está desarrollando. Es frecuente la formación de consorcios entre empresas nacionales y extranjeras del sector de residuos sólidos que tienen capacidad suficiente para responder a la demanda que se presente en este campo. Sin embargo, no existe un directorio regional ni nacional sobre estas capacidades del sector privado, con excepción del Brasil donde funciona la Asociación Brasileña de Empresas de Limpieza Pública, ABRELP (Acurio, 1998).

Claro está, que en la actualidad, a pesar de existir estas irregularidades, no se puede generalizar el mal empleo de la norma, pues las nuevas empresas que se están creando pretenden llevar a cabo y con conciencia social el cumplimiento de la ley, máxime si está de por medio la importancia de salvar al planeta del calentamiento global

que lo está llevando al borde de su desaparición, creando conciencia ambiental y respeto por la vida con ayuda de organizaciones que no prestan el mismo servicio.

En respuesta con la problemática los Ministerios de Salud y Medio Ambiente determinaron en la Agenda Interministerial ejecutar un Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios haciendo parte del Plan Nacional Ambiental Planasa 2000-2010, con tres componentes fundamentales: el primero, lo constituye el Decreto 2676 de 2000 y sus modificaciones, instrumentos reglamentarios para la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, en el cual se establecen claramente las competencias de las autoridades sanitarias y ambientales, quienes deben desarrollar un trabajo articulado en lo que se refiere a las acciones de inspección, vigilancia y control.

Por otra parte, el segundo componente del programa es el proceso permanente de divulgación y sensibilización dirigido al sector salud y autoridades sanitarias y ambientales de todas las regiones del país.

El tercer componente es el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia MPGIRH, elaborado y ajustado a las necesidades del país (Secretaría de Salud, 2007).

En cuanto a los organismos internacionales y bilaterales se encuentran: El BID (Banco Interamericano de Desarrollo), BIRF (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento), OPS (Organización PanAmericana de la Salud)/OMS (Organización Mundial de la Salud), PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), CEPAL (Comisión para América Latina y el Caribe), GTZ (Organismo Alemán para la Cooperación Técnica), USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) y AECI (Asociación de Empresas Constructoras Internacionales), son los principales organismos involucrados en proyectos de inversión, asistencia técnica, desarrollo institucional, capacitación y evaluación del impacto ambiental relacionados a los residuos sólidos y en menor grado a los residuos peligrosos.

- **Organismos no gubernamentales:** comprende a las entidades nacionales y extranjeras que se dedican a proyectos sociales y ambientales relacionados a los residuos sólidos, y particularmente, a los segregadores, al reciclaje y a las microempresas (Salud sin daño, 2007).
- **Otros organismos formales:** constituidos por universidades e institutos de formación y capacitación de los recursos humanos del sector. Incluye a las asociaciones de ingenieros sanitarios y ambientales, las asociaciones de empresas de aseo, las asociaciones de recicladores, y otros organismos formales como son las microempresas para el manejo de residuos. Todos ellos están actuando en los países y su actividad es creciente, tal como lo demuestran las asociaciones de empresas de aseo de Colombia y Bolivia. Cabe resaltar el papel que desempeñan la Asociación InterAmericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, a través de su División de Residuos Sólidos, DIRSA, en el campo de la promoción y movilización de recursos.
- **Otras organizaciones informales:** gremios, asociaciones y cooperativas de segregadores, recolectores, comercializadores del material reciclable, y recicladores, de carácter informal pero que constituyen tanto por su número como por sus implicancias sociales, elementos importantes que deben ser tomados en cuenta en cualquier plan para la gestión de los residuos sólidos municipales.

Vale la pena resaltar, que con las campañas a nivel masivo y de sensibilización al respecto, se demuestra que ha interés real no sólo por sí mismos sino por los demás, pues después de todo, todos formamos parte del ciclo vital del planeta y son nuestras actitudes frente a este las que permiten que se recupere la salud ambiental y hacer lo posible por mantenerla.

Aunque hoy más del 50% de los residuos hospitalarios se disponen inadecuadamente en los rellenos sanitarios, pese a la vigencia del Reglamento de Residuos Peligrosos que los clasifica como tal, según el Programa de medioambiente de las Naciones Unidas para el Convenio de Estocolmo.

El problema radica en que este tipo de residuos son tratados como basura común, y la consecuencia directa es que su manejo deja de tener las

precauciones necesarias que merece un residuo de riesgo y peligroso como el hospitalario.

Mientras los países ausentes en la ratificación no la acojan y los que están dentro de ella no la practiquen minuciosamente, el problema seguirá latente y con tendencia al aumento, siendo de esta manera una herramienta en desuso, que permitiría lograr una mejor calidad de vida para las personas y el medio ambiente (Ministerio de Medio Ambiente, 2003).

Normatividad en Colombia

Existe normatividad estricta en cada país que regula el manejo de residuos, la cual se da a conocer mediante decretos, resoluciones y manuales de bioseguridad entre otros, los que estipulan minuciosamente el adecuado manejo y posterior disposición de los desechos, así como permiten estructurar las capacitaciones que se realizan a nivel intrahospitalario para informar adecuadamente al personal que allí labora (Ministerio de Medio Ambiente, 2003).

En Colombia se reglamenta mediante las resoluciones 016,017, 018 019,020 y 012 expedidas por la CAM Ministerio de Salud Colombia, decreto 2676/2000 Ministerio de Salud Colombia.

Dicho decreto reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, señala su objeto, alcance, dicta definiciones para el efecto, clasifica los residuos hospitalarios, indica las autoridades ambientales y las obligaciones de diferentes prestadores del servicio de aseo, de desactivación y otros, determina la gestión integral de residuos hospitalarios y las tecnologías para la minimización de residuos.

En el campo de los residuos peligrosos, se constata permanentemente que existen dificultades en la aplicación de la normativa de estos, en razón a que el conocimiento de las normas legales vigentes no es de dominio común de los actores involucrados en su gestión; se conoce la participación de cada uno de ellos ya sea como generador y como operador de residuos sólidos bajo la modalidad de prestación de servicios o empresa comercializadora de residuos sólidos. Sin embargo la gestión propia de los residuos sólidos entraña dificultades por cuanto unido a ello va el manejo de la información y el cumplimiento de obligaciones administrativas, como son la presentación

de los instrumentos técnicos a la autoridad competente, sea como generador o como operador de residuos sólido (Salud sin daño, 2007).

Otra tendencia que se ha observado es la formación de empresas metropolitanas en las grandes ciudades donde hay varios municipios o entidades político-administrativas geográficamente conurbanos. En general, la empresa que se forma atiende los aspectos de disposición final y transferencia y deja la recolección en manos de los municipios. La administración de la empresa recae en un directorio formado por los alcaldes o sus representantes, quienes designan una persona para gerenciarla.

Resultados

La normatividad existente en torno al manejo de los desechos intrahospitalarios y su efecto en el medio ambiente es clara y concisa, máxime que proviene de una misma fuente siendo ésta el Convenio de Estocolmo, que mediante la OMS regula y vigila que esta norma se cumpla, aunque por ignorancia o negligencia de los países que en su autonomía ejercen sobre sus establecimientos de salud a cualquier nivel, no se cumplen en su totalidad y a pesar de existir sanciones se siguen presentando aunque en menor escala contaminación y daño de personas y del medio ambiente, no logrando en su totalidad, la correcta disposición de éstos. Mientras no se concientice a la población general y a aquellos vinculados desde profesionales hasta personal de servicios generales que laboran en dichos centros el peligro de contraer diversas enfermedades de alto contagio está latente, sólo por no seguir los pasos básicos y específicos para evitar desastres en la salud de las personas y del medio.

Discusión

En un hospital se generan todo tipo de residuos y cada uno de ellos ha de sufrir un tratamiento diferente, residuos urbanos, biosanitarios, citostáticos, químicos y radiactivos, entre otros. Estos se clasifican y eliminan por procedimientos especiales, previstos por distintas normativas, para garantizar la seguridad en el medio hospitalario y de la población, siendo en última instancia el punto de partida para la elaboración de diferentes documentos

como lo son decretos, manuales, revistas científicas, páginas web, así como diarios de amplia circulación e incluso el publicado por el estado como lo es el Diario Oficial, que en sus páginas dan a conocer ésta información de manera clara y concisa, no con términos legales que muchas veces enredan, por lo que no hay excusa alguna para decir que no se posee conocimiento o información al respecto, o lo que leyó fue de difícil comprensión.

La gestión y manejo de los residuos hospitalarios varía de un país a otro, y de acuerdo a su realidad cada país tiene sus bases legales propias y se recurre a la aplicabilidad de las normas internacionales cuando se presentan vacíos de normatividad, siendo se máximo exponente el Convenio de Estocolmo.

El Convenio de Estocolmo persigue limitar la contaminación por contaminantes orgánicos persistentes (COP). Define las sustancias afectadas, así como las reglas de producción, importación y exportación de estas sustancias. Las consecuencias del mal manejo de estos residuos pueden acarrear graves problemas para la salud de quienes los manipulen. Estos desechos contienen microbios los cuales se pueden propagar hacia otros pacientes en los hospitales. En el caso de los materiales radioactivos, el mal manejo de estos acarrearía quemaduras. Los objetos corto punzantes causarían heridas que podrían terminar en serias infecciones. Los restantes: intoxicaciones de diversa índole. En fecha reciente, el 12 de abril del presente año para ser más precisos, en Medellín-Antioquia, la policía capturó a tres delincuentes quienes transportaban 150 kilos de desechos hospitalarios que pretendían lavar y reutilizar para venderlos como nuevos en lugares de baja extracción económica (Pérez, 2012). Por ello es vital que el personal de salud disponga de manera idónea estos materiales. Es imprescindible que cada centro asistencial, banco de sangre o laboratorio tenga “un sistema integral que priorice en la atribución de responsabilidades, la asignación de recursos y la manipulación y evacuación de los desechos.

Todo es cuestión de prestar buena voluntad para frenar el mal manejo y disposición de los desechos en especial los intrahospitalarios, que como se pude ver en párrafos anteriores es un problema no sólo de Colombia, sino de carácter mundial, que aunque ahora parezca pequeño, en cualquier momento podemos quedar bajo toneladas de desechos al paso que van el crecimiento industrial y la desinformación.

Conclusión

El tratamiento de residuos peligrosos es la implementación de cualquier proceso, método, técnica que permita modificar la característica de peligrosidad del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente. Se debe recordar que, un residuo peligroso no necesariamente es un riesgo, si se maneja de forma segura y adecuada para prevenir las condiciones de exposición descritas previamente.

Como posibles soluciones se pueden plantear: Un control efectivo de la disposición inadecuada de este tipo de residuos por parte de los generadores y por lo tanto reducir la amenaza que esto pueda representar para la salud pública y el medio ambiente; educar y sensibilizar a la comunidad generadora de estos residuos para que, a conciencia haga un manejo adecuado de estos.

Se deben simplificar y optimizar los procesos de disposición de manera que no representen una carga adicional y compleja de llevar a cabo por parte de los generadores, o excesivamente costosa para los mismos. Estos elementos van en contra de una política efectiva y eficaz.

Se puede minimizar la cantidad y toxicidad de toda la basura generada por el sector del cuidado de la salud, de modo que el manejo de los residuos se haga protegiendo a las personas y al ambiente.

El programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios Reglamentado por el Decreto 2676 de 2000, establece responsabilidades compartidas para la gestión integral de los residuos hospitalarios: al sector de la salud y generador de residuos similares en cuanto a la planificación de la gestión interna, a las empresas de servicio público especial en relación con la planificación de la gestión externa y a las autoridades ambientales y sanitarias, las cuales deben desarrollar un trabajo articulado y armónico en lo que se refiere a la evaluación, seguimiento y monitoreo de las obligaciones establecidas al sector regulado.

Finalmente, se debe divulgar, educar y sensibilizar a la comunidad para que ellos sean los encargados de reconocer, denunciar y controlar la disposición inadecuada de residuos peligrosos. En este último sentido se deberán también popularizar las herramientas que tienen los ciudadanos a su alcance para ejercer este control.

Si todos trabajan del mismo lado apoyando las normas, se puede lograr una disminución significativa de la contaminación principalmente la

generada por la gran cantidad de desechos peligrosos especialmente los intrahospitalarios para ayudar a mejorar el medio ambiente en que vivimos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, G., Rossin, A., Teixera, P., Zepeda, F. (1998). Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Publicación Conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización PanAmericana de la Salud.
- Barraza, S. (2011). Residuos hospitalarios: Plan de Manejo de Residuos Hospitalarios.
- Calle, J. y Jiménez, D. (2006). Manual de Manejo de Residuos Hospitalarios en el Hospital de San Vicente de Paul. Colombia
- Contraloría de Bogotá. (2005). Evaluación del Manejo Integral de los Residuos Hospitalarios en IPS Privadas en el Distrito Capital.
- Corporación Autónoma Regional del Quindío (2011). Plan Departamental para la Gestión Integral de Residuos o desechos Peligrosos. Conozcamos los Residuos Peligrosos.
- Davis, S. (2002). Plan de Minimización, Segregación y Reciclaje de Residuos Hospitalarios.
- Institución Universitaria de Colegios de Colombia. (2010). Guía en Bioseguridad. Guía práctica clínica en salud oral.
- Junco, R. y Rodríguez D. (2000). Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Desechos Hospitalarios: Aspectos Metodológicos de su Manejo.
- López, E. (2011). Eliminación de residuos hospitalarios como problema de salud pública.
- Ministerio de Salud (25 de noviembre de 2002). Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares. Diario Oficial de Colombia Núm. 45009.
- Monge, G. (1997). Manejo de Residuos en Centros de Atención de Salud. Hojas de Divulgación Técnica Cepis, agosto-diciembre.
- Neveu, A, Matus, P. (2007) Residuos hospitalarios peligrosos en un centro de alta complejidad. Revista Médica de Chile., vol. 135, n.º 7.
- Olivetto, A. (2007). Residuos Hospitalarios: Guía para reducir su impacto en la Salud y el Ambiente. Revista: Agenda Global para Hospitales Verdes y Saludables. Salud Sin Daño, p. 3.

Pérez, D. El Espectador.com. En Medellín cae una banda que revendía desechos hospitalarios. 12 de abril de 2012. <http://www.elespectador.com>

Programa de Manejo de Residuos Especiales. 2010. Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Revista Salud sin Daño. http://www.noharm.org/salud_sin_danio/

Rodofa, M. y Allen, C. (2005). Informe: Proyecto Internacional de Eliminación de COP.

Sabini, L. Basura - Problema de los Distintos Desechos - Parte I. 17 de junio de 2010. [Http://www.artigoo.com](http://www.artigoo.com)

Sánchez, I. (2010). Plan para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares en la ESE María Auxiliadora en Mosquera-Cundinamarca.

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. <Http://www.bogota.gov.co>

Síntesis de la Legislación de la Unión Europea. Convenio de Estocolmo. 31 de julio de 2006. <http://europa.eu>

Acciones realizadas en la mitigación de la emergencia invernal por la Gobernación de Cundinamarca, año 2010-2011

*Actions in mitigating the flood emergency
in Cundinamarca by year 2010-2011*

Patricia Barazeta Ávila

Enfermera, Fundación Universitaria del Área Andina. patty2416@hotmail.com

Nancy Montealegre Castillo

*Enfermera, Universidad de Cundinamarca. Fundación Universitaria del Área Andina.
nancymontealegrec@correo.com*

RESUMEN

El objeto de este trabajo es identificar las acciones realizadas por el departamento de Cundinamarca ante la emergencia invernal de los años 2010 y 2011, se establece mediante una revisión sistemática, número de fuentes que se indagaron fueron 73 artículos, de los cuales se escogieron 30 artículos. Los artículos tienen tres características en común: similitudes en las cuales todos los artículos se encuentran directamente relacionados a la ola y emergencia invernal como factor desencadenante la alarma climática en el departamento de Cundinamarca. Diferencias: cada artículo realizado plantea diferentes características en la conducta de los pacientes con patología en salud pública dependientes del clima y grupo etario. Particularidades: la ola invernal 2010- 2011 constituye una inmejorable oportunidad para optimizar la respuesta asociada a la atención de emergencias derivadas de desastres naturales, de tal forma que se pueda estar mejor preparados para futuras emergencias invernales.

Técnica de depuración

Se realizaron dos matrices, la primera conformada por la bibliografía de los artículos y la segunda por los subtemas que tuvimos en cuenta. Fueron tres: ola invernal, intervención de salud y epide-

miología en la olas invernales, características de las enfermedades en la ola invernal, los temas identificados en la revisión sistemática giran en torno a la emergencia invernal, fenómeno de la niña, planes de acción, guías de manejo y normatividad empleada para emergencias invernales identificado en el departamento.

Teniendo en cuenta que los problemas ocasionados por el calentamiento global y los cambios climáticos están afectando a gran parte de la población, no sólo en la parte económica, sino también en la salud.

El departamento de Cundinamarca implementa acciones establecidas por el Ministerio de la Protección Social y el Instituto Nacional de Salud para la mitigación de la ola invernal, y también planes de acción a nivel departamental y territorial; estudiando patologías de salud pública propias de la ola invernal y según circular 083 de 2010 en donde las enfermedades transmitidas por vectores y el agua son sensibles a los cambios en el clima, a través de sus efectos sobre los elementos patogénicos - parasitarios, bacterianos, virales y sus organismos vectores.

Los resultados presentes en estos estudios el departamento de Cundinamarca no reflejan cambios representati-

vos en el comportamiento epidemiológico de las patologías estudiadas en salud pública. Con la presencia del insecto *Culex spp*, produciendo malestar sanitario en los municipios de Mosquera y Cota,

lo que se refleja es el aumento en el número de registros debido a estrategias implementadas con el fin de mitigar el impacto en patologías de salud pública relacionadas con la ola invernal.

Palabras clave: ola invernal, emergencia, mitigación.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to identify the actions taken by the department of Cundinamarca to the flood emergency in 2010 and 2011, is established through a systematic review, given that the problems caused by global warming and climate change are affecting much of the population, not only in the economic but also in health. Cundinamarca department implements actions set by the Ministry of Social Protection and the National Institute of Health for the mitigation of the rainy season, and action plans at the departmental and territorial public health study pathologies typical of the rainy season and as Circular 083, 2010 where vector-borne diseases

and water are sensitive to changes in climate, through its effects on pathogenic elements parasitic, bacterial and viral vectors and their bodies res.

The results found in these studies Cundinamarca department representative does not reflect changes in the epidemiological behavior of the diseases studied in public health. With the presence of the insect *Culex spp*, producing disturbing health in municipalities Mosquera and Cota, this is reflected in the increasing number of records due to strategies implemented to mitigate the impact on public health diseases related to cold wave.

Key Words: Winter wave, emergency, mitigation.

Introducción

La ocurrencia de desastres no es un fenómeno aislado, es la expresión de la interacción entre una serie de factores naturales y sociales que junto con la presencia de una amenaza en una zona, producen el desastre. En general, el riesgo de desastre por inundación de una población depende de la intensidad de la amenaza y de su probabilidad de ocurrencia, de la vulnerabilidad de la población, así como de su capacidad de prevención y respuesta (Organización internacional de promoción y desarrollo y lucha contra el hambre) (Oxfam, 2011).

Colombia tiene una diversidad natural amplia pero sus ecosistemas son frágiles y vulnerables frente a las variaciones climáticas. Por su ubicación geográfica, Colombia tiene una precipitación anual promedio de 3.000 mm, lo que significa una abundancia hídrica en relación al promedio de lluvias del Sur de América que es de unos 1.600 mm al año (Barajas, 2011).

El fenómeno meteorológico de la “Niña”, relacionado con el cambio climático, ha modificado el patrón de lluvias causando un nivel de precipitación 4 o 5 veces mayor del habitual. Sumando a esto la pérdida de los páramos, la deforestación del bosque alto y la destrucción de los humedales han hecho que se altere la regulación del ciclo normal del agua. Como resultado de ello, las lluvias de la última década han sido intensas, constantes incrementando la frecuencia y la magnitud de las inundaciones (Barajas, 2011).

Identificando los desastres naturales que afectan al departamento de Cundinamarca en su emergencia invernal años 2010 y 2011 encontramos: avalanchas, inundaciones, derrumbes, anegación de tierras, desbordamiento de ríos y quebradas.

Es así como el término “mitigar” no debe tomarse en el sentido coloquial de “aliviar”, sino en el sentido concreto y específico que se le da en la administración de desastres: mitigación equivale en este contexto a reducción de la vulnerabilidad, a eliminar o reducir en lo posible la incapacidad de la comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en el ambiente, a reducir su impotencia frente al riesgo, ya sea éste de origen humano o natural, a hacerla más flexible, más autónoma, más dueña de su relación con el ambiente.

Frente a inundaciones y deslizamientos, la vulnerabilidad física se expresa también en la localización de asentamientos humanos en zonas

expuestas a los riesgos citados. Pero quienes deciden levantar sus casas en terrenos urbanos inundables o en laderas y empinadas, generalmente no lo hacen por amor al río o al paisaje, sino porque carecen de opciones: porque su capacidad adquisitiva está por debajo del precio de terrenos más seguros y estables. Y llegan allí por medio de “invasiones” (Wilches, 1993).

Según los lineamientos y estrategias se han implementado tres fases de atención: rehabilitación, recuperación y reconstrucción, en la fase de atención fue el ministerio de justicia y del Interior familias afectadas por la ola invernal, DANE, acción social, identificación de personas damnificadas en su condición de vida, los cuales se actuaron en los siguientes aspectos, en la infraestructura de la red vial, manejo de atención de focos sanitarios y disfunción de medidas de prevención y mitigación, la vigilancia de salud pública acciones inmediata y supervisores que apoyen la vigilancia epidemiológica, fortalecimiento de la red de laboratorios, unidades móviles para la atención inmediata y adecuada, ambiente vivienda desarrollo territorial adecuada (Departamento Nacional de Planeación, Plan de desarrollo y acción 2010-2014, pp. 603-604).

Por lo tanto, el objetivo como tal de esta manuscrito es identificar las acciones realizadas por el departamento de Cundinamarca ante la emergencia invernal años 2010-2011.

Ola invernal

Se refiere a la temporada invernal en Colombia en el 2010. La temporada produjo fuertes aguaceros que causaron inundaciones en diferentes zonas de Colombia. La situación se originó debido a las abundantes lluvias provocadas por depresiones tropicales; y frentes cálidos propios de la época húmeda, ocasionados por el fenómeno de la niña (Escobar, 2011).

Para el caso de Colombia, la aparición del fenómeno de la Niña, proceso inverso al del Niño, hace que de la temporada de verano y de sequía se pase a una en que las lluvias y deslizamientos sean el común denominador, lo que se refleja en aumentos inusitados de los caudales de los ríos e inundaciones en las zonas bajas mal drenadas, además de pérdidas económicas por bloqueo de vías (Duque, 2007).

Cundinamarca ubicada en el corazón de Colombia, se ve influenciada por factores diversos que la enfrentan a situaciones de riesgo inminente, un claro ejemplo es la última ola invernal vivida en sus municipios, teniendo en cuenta esta situación, la gobernación de Cundinamarca, la Secretaría de Salud y la Dirección de Salud Pública reunieron esfuerzos e iniciaron el desarrollo de estrategias con el fin de minimizar el impacto generado en el bienestar socioeconómico y cultural de la población cundinamarquesa.

Antecedentes

Colombia, debido a su ubicación geográfica, dentro del cinturón de fuego del pacífico y la región andina, permite la afluencia de amenazas por fenómenos naturales relacionados con actividad sísmica y erupciones volcánicas. Igualmente, las condiciones meteorológicas e hidrológicas, propias de un país ecuatorial, hacen que el territorio nacional esté sometido a vientos, lluvias y cambios de temperatura que a la postre son generadores de amenazas por deslizamientos, inundaciones, desbordamientos, avenidas, erosión, sequía.

Así mismo, el crecimiento insostenible de la población (la población en una razón de 50 años se ha cuadruplicado), la acelerada urbanización iniciada desde finales de los 60 (3 de cada 4 personas viven en ciudades) y el fenómeno del calentamiento global, permite establecer que en Colombia existe una alta probabilidad de amenaza por desastres de origen ambiental (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales IDEAM, 2002).

En la historia de Cundinamarca se relatan situaciones de Emergencia y diferentes tipos de desastre aproximadamente desde el año 1581, donde se reportó la destrucción de zonas del municipio de Tocaima debido al desbordamiento del río Bogotá. De la misma forma, se mencionan en mayor frecuencia los efectos generados por los sismos que se relacionan desde el año 1616 a 2009. Instituto de Hidrología Meteorología Estudios Ambientales (IDEAM, 2002). Se ha podido observar que durante los últimos 500 años se han presentado 54 grandes desastres, calculando que se presentaba 1 desastre cada 9.26 años, sin embrago se evidencia un incremento durante el siglo 20, ya que los cálculos realizados señalan la aparición de 1 desastre cada 2 años (Humanitaria, 2011 La atención a la emergencia invernal por el Fenómeno de La Niña 2010-2011 en Cundinamarca).

En patologías de salud pública, el departamento de Cundinamarca, no reporta aumento en los registros de enfermedades relacionadas con emergencias invernales.

Intervención de salud y epidemiología en la ola invernal

Ante el incremento de la ola invernal y la necesidad de unificar criterios tanto a nivel nacional, departamental y municipal, el Ministerio del Interior y Justicia decreta el estado de emergencia económica, social y ecológica en todo el territorio nacional por el término de treinta (30) días contados a partir de la fecha de expedición del presente decreto, con el fin de conjurar la grave calamidad pública e impedir la extensión de sus efectos (Ministerio de Interior y Justicia, 2010).

El Ministerio de Protección Social ante la actual situación de Emergencia Invernal en que se encuentra el país con por lo menos 32 de las 36 entidades afectadas por la inundación, que han generado 246 muertos y más de dos millones de damnificados, el Ministerio de la Protección Social imparte las siguientes instrucciones de obligatorio cumplimiento, que deberán implementarse en los planes de contingencia de cada entidad territorial para mitigar el impacto del invierno en la salud pública por la temporada invernal (Ministerio Protección Social), Invima (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos) (Instituto nacional de Salud, 2010).

El departamento de Cundinamarca elaboró un plan básico para identificar alerta e implementar acciones inmediatas, y posteriores a la ocurrencia de los posibles eventos ante situaciones de riesgo. De la misma forma el departamento toma de decisiones y se prepara para dar respuesta a los municipios afectados por la ola invernal 2010-2011; teniendo en cuenta que se encuentran en estado de emergencia económica, social y ecológica (Ministerio de Interior y Justicia Colombiana, 2010).

El plan de contingencia Sectorial de Salud tiene como finalidad, generar acciones/lineamientos orientados a minimizar el impacto adverso de las amenazas a través de incrementar la resiliencia de los grupos vulnerables y de las comunidades, reduciendo la vulnerabilidad e incrementando la capacidad de prepararse, responder y recuperarse del impacto del desastre.

La coordinación, control, seguimiento de todas las actividades administrativas y operativas que sean indispensables para atender la situación de la emergencia por temporada invernal, será asumida por las instituciones/entidades vinculadas y adscritas al Ministerio de la Protección Social, bajo una estructura modular que permita la combinación de instalaciones, equipamiento, personal, protocolos, procedimientos y comunicaciones; operando en una estructura organizacional común, con la responsabilidad de administrar los recursos, para lograr efectivamente el objetivo general y específicos del presente Plan de Contingencia del Sector Salud, Ministerio de la Protección Social de Colombia (MPS, 2011).

La socialización de este plan se realizó a través de las circulares: circular 1283 de 17 diciembre 2010 (Intensificación de las acciones de prevención, vigilancia y control en salud pública de las enfermedades transmitidas por alimentos, cólera . diarrea aguda y hepatitis, circular 1198 de noviembre 18 del 2010 intensificación de la vigilancia de los casos de ESI (enfermedad similar a la influenza) e IRAG, (infección respiratoria grave), circular 0341 de marzo 10 2011 instrucciones para la activación de los planes de contingencia por ola invernal, circular 002 de abril 26 2011 máxima alerta emergencia invernal, circular 486 de mayo 2 de 2011, instrucciones para la activación de los planes de contingencia e intensificación de la vigilancia salud pública integral por la ola invernal, circular 499 de mayo 03 de 2011, atención de albergues, circular 300 de 03 me marzo de 2011, vigilancia centinela a la enfermedad similar a la influenza (ESI), infección respiratoria aguda grave (IRAG) ira inusitada, virus influenza AH1NA (virus A”, “hemaglutinina” y “neuraminidasa”; éstas dos últimas son proteínas de superficie. Y el número 1 corresponde a la clasificación de las cepas de virus).

La implementación se direccionó a cada ente territorial y UPGD (unidades primaria generadora de datos), con los grupos de profesionales de apoyo contratados para esta emergencia que se desplazan a los municipios afectados inminentemente, así como a los demás municipios del departamento de Cundinamarca.

Esta actividad cuenta con un grupo interdisciplinario de profesionales y técnicos e integrado por las áreas de control de riesgos del ambiente el consumo, vigilancia epidemiológica y el laboratorio de salud pública. El grupo se desplaza a las zonas afectadas a fin apoyar y atender oportunamente los

eventos presentados, dentro de sus funciones está realizar la evaluación de los riesgos que afectan la población, realizar el diagnóstico y proceder a realizar acompañamiento, asistencia técnica en la estructuración del plan de acción acorde al tipo de emergencia y afectación sobre la población. La prioridad está en la población pobre y vulnerable al igual que en los niños, niñas, adolescentes y madres de familia.

Tras el paso del fenómeno de la Niña por el departamento de Cundinamarca, las cifras de destrucción reportan la tragedia más fuerte que ha soportado esta zona del país en su historia (Ver Tabla 1), el último censo de damnificados realizado por la administración departamental indica que 24 mil 477 familias resultaron damnificadas por la emergencia, 81 mil 593 personas, 3 mil 256 viviendas destruidas y 20 mil 062 averiadas, en la totalidad del departamento de Cundinamarca años 2010 a 2011 en donde el 16 (100%) total de las provincias, de los 116 municipios se afectaron 91%, siendo los municipios de Cota, Mosquera, Chía, Útica, Caparrapí, Soacha los más afectados a razón de personas y familias.

Con inundaciones, avalanchas, deslizamientos, tierras anegadas, hundimiento de calzadas ocasionando estas situaciones difícil acceso a vías intermunicipales y veredales.

No se pueden obviar las condiciones económicas y sanitarias de naciones como Colombia, que en muchos casos son precarias y asociadas a los grandes márgenes de pobreza y desempleo, que aumenta el riesgo de generarse enfermedades transmitidas por alimentos.

A un lado a esto, las repercusiones de la ola invernal, ha generado el establecimiento de albergues, deficiencias de prestación de servicios básicos y dificultades de accesibilidad al sistema de salud, aumentando el riesgo de morbilidad de la población Colombiana, situación que crea la necesidad de fortalecer las acciones de vigilancia en salud pública a nivel local, municipal y nacional (Ministerio de la Protección Social, 2010).

Ante esta situación y en lo relacionado a vigilancia epidemiológica la Secretaría de Salud de Cundinamarca inició con el desplazamiento al municipio de Mosquera, para realizar un levantamiento de índices de infestación para identificar las áreas de mayor densidad y la especie de mosquito presente, con el fin de priorizar y realizar acciones de control químico.

Según resultados, es probable que el mosquito existente en la zona causante de la molestia sanitaria sea de la especie *Culex spp.* Se realizan las actividades pertinentes en cuanto a promoción y prevención obteniendo los siguientes resultados:

A través de la aplicación de medidas de control en la zona urbana y rural de Mosquera se logró la reducción de la población de adultos y larvas de ineptos producidos por el agua estancada.

Se recomienda a las personas que se encuentren en riesgo de entrar en contacto con el insecto, el uso de medidas de protección personal y la utilización de medidas de control físico en las viviendas.

La activación de los planes de contingencia ante la temporada invernal en las acciones específicas de vigilancia en salud pública, acciones de prevención, mitigación y control en la población damnificada o en situación de emergencia humanitaria, desde la promoción social lleva implícito un esfuerzo sostenido que permita la movilización social e institucional pertinente y oportuna, acorde con las características, condiciones y necesidades específicas de las personas, de conformidad con el enfoque diferencial, para garantizar que este esfuerzo sea sostenido en el marco de las responsabilidades institucionales, la corresponsabilidad y del respeto por los derechos humanos (Dirección General de Promoción Social 2010).

Para todas las provincias afectadas por la ola invernal en el departamento de Cundinamarca y en aras de proteger la salud de la población más vulnerable realizaron acciones específicas de promoción, prevención y control con el fin de disminuir los riesgos para enfermedades infectocontagiosas, respiratorias, influenza AH1N1, sarampión, rubéola y varicela, ESI-IRAG- EDA, ETAS y zoonosis. En los municipios afectados el alto número de personas damnificadas fueron atendidas a nivel local con apoyo del departamento y sus profesionales referentes.

En ese sentido es indispensable desarrollar las instrucciones contenidas en la circular 083 de 2010, velando porque en los planes de cada entidad territorial se tengan en cuenta las características particulares de las poblaciones de mayor vulnerabilidad por su situación socioeconómica, desplazamiento, discapacidad (física, mental, visual, auditiva, cognitiva y múltiple), pertenencia étnica, ciclo vital (niñez, adolescencia, juventud, adultez, vejez)

y género, con el fin de prevenir o contener la presencia de situaciones que aumenten su vulnerabilidad o la ocurrencia de enfermedad o muerte en dichas poblaciones. (Dirección General de Promoción Social, 2010).

La Secretaría de Salud de la Gobernación de Cundinamarca realiza detección precoz de nuevos casos, con el fin de evitar brotes y epidemias, esto permitió sortear de manera adecuada la situación de salud de los albergues y familias amigables.

Al revisar las provincias con mayor incidencia en la ola invernal se identifica que el 100% de los municipios de las provincias de: Magdalena centro, Soacha, Sumapaz, Tequendama, Ubaté y bajo Magdalena, se vieron afectados por este fenómeno natural.

En segundo lugar la provincia de Oriente aportando un 90%, en tercer lugar Río Negro con 88% y Sabana centro 88% en cuanto lugar Guavio con un 70%, como quinto lugar Almeidas 57%, Alto Magdalena 50%, y Medina 50%.

Es necesario aclarar que los municipios de Chía, Caparrapí, Pacho, Puerto Salgar, Soacha y Vergara son los municipios con mayor número de personas afectadas, por desbordamiento de ríos y quebradas, avalanchas de lodo y piedras, taponamiento de vías.

Hay tres casos especiales como es el municipio de Mosquera, Útica y Chía; en Mosquera y Chía en donde se vio afectado parte del casco urbano y rural como consecuencia del desbordamiento del río Bogotá, se formaron grandes cuerpos de agua estancada donde se reproducen las formas inmaduras de mosquitos y por ende la presencia de adultos dentro y fuera de las viviendas, especialmente las cercanas a las zonas de inundación, situación que generó molestia sanitaria a la comunidad anegada por el río Bogotá.

Características de las enfermedades en ola invernal, análisis epidemiológico años 2010 y 2011

Es posible que estos factores ambientales también incidan en la mayor sobrevivencia de agentes transmisibles en el ambiente, los cambios climáticos invernales, unidos a condiciones geográficas locales, favorecen el aumento de los factores de riesgo para la incidencia y prevalencia de patologías, que en

condiciones climáticas estables no tendrían mayores modificaciones (Avenidaño, 2003).

De allí la importancia de mantener actualizados los canales endémicos de los eventos de interés en salud pública, especialmente de aquellas patologías que pueden exacerbarse con el invierno o las condiciones en las que se encuentran los damnificados tales como: enfermedad diarreica aguda, infección respiratoria aguda, accidente ofídico, enfermedades transmitidas por alimentos/agua, enfermedades transmitidas por vectores, (malaria, dengue, leishmaniasis, fiebre amarilla), leptospirosis, varicela hepatitis A, fiebre tifoidea y paratifoidea, con el fin de garantizar la toma oportuna de decisiones ante un aumento inusitado de estas (MPS, Invima, INS, 2010).

Enfermedades transmitidas por alimentos-ETA

El número de casos reportados, para el año 2010 fueron 342 casos, se notificaron (342) casos por el Sivigila (sistema de vigilancia en salud pública), que incluye un brote de ETA (enfermedad transmitidas por alimentos y/o aguas), que afecta a ciento dieciocho (118) personas que consumieron comida en un casino de una empresa privada no afectada por la ola invernal, en la semana epidemiológica 19, el reporte por parte de la Institución se realizó por archivo plano, no vía fax. Siendo identificado posteriormente el brote.

Para el año 2011 se notificaron al Sivigila quinientos cincuenta y seis (556) casos, presentándose un brote en la semana epidemiológica número 7 con 209 eventos presentados en una institución educativa. De un municipio del departamento de Cundinamarca no afectado por la Emergencia Invernal.

Los casos por ETA se reportan en todos los grupos de edad, por lo cual se considera un riesgo importante para la población en general. El rango de edad más afectado es de personas entre los 10 a 20 años. Se presenta una tendencia comparativamente igual para el caso de género, en donde se distribuye 51% para el masculino y 49% para el femenino.

Enfermedad diarreica aguda (EDA)

Según información obtenida por el Siviigila para el año 2010 reportaron 2 casos, 1 de individual de 1 año precedente y residente en Cota municipio afectado ampliamente por la emergencia invernal, y el segundo paciente de 1 año precedente de Zipaquirá, para el año 2011 no hay reportes de este evento en el siviigila, reflejando una subestimación en el evento.

La notificación de este evento se realiza por ficha colectiva, la notificación para los años 2010 y 2011 son similares (año 2010, 50 casos, año 2011, 51) pues quienes notifican son unidades centinelas que se encuentran ubicadas en los municipios de Chía, Girardot, Soacha, y Zipaquirá, es de resaltar que en los períodos epidemiológicos del 5 al 9 en donde se presentaron picos respiratorios es en los meses de mayo, junio, julio y agosto en donde la emergencia invernal pasó por la situación más alta en el departamento de Cundinamarca.

Varicela

El aumento en la notificación epidemiológica demuestra un mayor número de casos para el año 2011 (8030) en relación al 2010, (5135) en la temporada invernal se presentó un brote en el municipio de Mosquera en un albergue, no hay muertes ni complicaciones clínicas, el grupo de edad en donde se reportaron más casos tanto para el año 2010 como 2011 fue de 5 a 9, la notificación del año 2010 al 2011 se redujo en el grupo etario de 1 a 4 años en un - 0.9%.

TABLA 1. Número de casos de varicela por grupo etario de Cundinamarca años 2010-2011.

Edad	2010				2011				Cambio
	Masculino	Femenino	Total	Porcentaje	Masculino	Femenino	Total	Porcentaje %	
< 1	102	113	215	4,2%	198	114	312	3,9%	-0,3%
1 - 4	624	596	1220	23,8%	959	875	1834	22,8%	-0,9%
5 - 9	649	681	1330	25,9%	1175	1040	2215	27,6%	1,7%
10 - 14	425	443	868	16,9%	686	668	1354	16,9%	0,0%
15 - 19	238	255	493	9,6%	381	400	781	9,7%	0,1%
20 - 24	183	167	350	6,8%	223	301	523	6,5%	-0,3%
25 - 29	126	131	257	5,0%	185	195	380	4,7%	-0,3%
30 - 34	86	85	171	3,3%	149	130	279	3,5%	0,1%
35 - 39	54	59	113	2,2%	85	60	145	1,8%	-0,4%
40 - 44	21	22	53	1,0%	48	45	93	1,2%	0,1%
45 - 49	17	14	31	0,6%	25	34	59	0,7%	0,1%
50 y más	18	15	34	0,7%	28	27	55	0,7%	0,0%
			5135	100,0%			8030	100,0%	

Fuente: Sivigila, Gobernación de Cundinamarca, Secretaría de Salud - Epidemiología, año 2010-2011

Discusión

La ola invernal 2010-2011 constituye una inmejorable oportunidad para optimizar la respuesta asociada a la atención de emergencias derivadas de desastres naturales, de tal forma que se pueda estar preparado para futuros embates de la naturaleza. Por lo tanto, es necesario trabajar en la optimi-

zación de los protocolos y modelos de intervención que actualmente están siendo elaborados e implementados, con base en las lecciones y experiencias aprendidas durante la emergencia invernal. Sin embargo el fenómeno climático de la ola invernal deja en evidencia que las personas más pobres son los más vulnerables al impacto de las amenazas actuales y a las esperadas en relación con el cambio climático.

En cuanto a los eventos de interés en salud pública, se evidencia que debido al aumento en el número de notificaciones de casos para el año 2011 con relación al 2010, se observa un incremento estadístico de las cifras. La causa principal en este aumento de notificaciones es la contratación de más profesionales los cuales se desplazan a cada ente territorial y cada UPGD con el fin de capacitar para la generación oportuna de datos.

Es necesario profundizar los estudios para determinar el grado de necesidades básicas realmente cubiertas a la población afectada, y el censo que está siendo realizado por el Gobierno puede ser un elemento importante para mejorar la atención. No es aceptable tampoco que cuatro meses después de declararse la emergencia haya mujeres que habiten albergues y refugios que también están inundados.

La ola invernal puso en evidencia fallas importantes de la estructura estatal de respuesta en todos los niveles, y en especial la capacidad de coordinación a nivel Departamental y de gestión de respuesta a nivel local en muchos municipios del Departamento de Cundinamarca.

Las estadísticas indican que los efectos de la ola invernal afectaron principalmente a la población más vulnerable 22.421 familias, debido a que la emergencia fué una crónica anunciada por la gran vulnerabilidad estructural que existe en el departamento. La interacción entre una distribución inequitativa de tierras, la desigualdad, pobreza y exclusión, está muy relacionada con la degradación de costas, cuencas, suelos y bosques, creando condiciones que amplifican aún más la vulnerabilidad de las comunidades.

Para enfrentar que la vulnerabilidad siga siendo crónica, es momento de que el Estado colombiano empiece a repensar el modelo de desarrollo e integre innovadoras estrategias de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático. Contar con estas estrategias en los municipios más débiles y vulnerables reduciría el sufrimiento de personas afectadas por fenó-

menos climáticos y también reduciría las pérdidas económicas en medios de vida e infraestructura. Estas medidas ayudarán a garantizar la dignidad y los derechos de las comunidades permitiendo su progresivo desarrollo.

Conclusiones

Cundinamarca desarrolló estrategias a nivel central, pero a nivel de los municipios se encuentra baja planeación de actividades, por ello se requiere vigilar y asesorar la ejecución de los planes de acción para ola invernal.

El departamento de Cundinamarca mediante un trabajo metódico y organizado elabora un plan de acción departamental con el fin de dar respuesta de manera eficiente y eficaz a la emergencia generada por la ola invernal en cada uno de sus municipios, ofreciendo atención inmediata y puntual acorde a sus necesidades.

En este sentido también deben generarse procesos para realizar asesorías permanentes y periódicas a las Secretarías de Salud para la atención inmediata de la Emergencia por temporada invernal, de acuerdo con las pautas trazadas por el Plan de Acción Departamental, el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Dentro de las acciones en prevención de próximas olas y fenómenos naturales se hace necesario la coordinación y articulación de los diferentes actores del Sistema de Seguridad Social, garantizando la continuidad e integridad de la atención sin barreras de acceso para la población afectada por el fenómeno invernal, pero a la vez evitando duplicidad potencial de acciones.

En la articulación de acciones, es necesario desde los entes gubernamentales regionales y nacionales proporcionar herramientas para fortalecer a nivel municipal la respuesta de la red de prestadores de salud, teniendo en cuenta que existen desde el punto de vista epidemiológico y de salud pública un comportamiento homogéneo a otras épocas invernales. Debe generarse además una evaluación de impacto ante la emergencia por la temporada invernal, efectos socioeconómicos en la atención de servicios de salud en la población afectada por esta emergencia.

Importancia de la biorremediación para mejorar las condiciones del suelo afectado con derrames de hidrocarburos y el medio ambiente en Colombia del 2002 al 2012

Importance of improving bioremediation soil conditions concerned with oil spill and the environment in Colombia from 2002 to 2012

Guiomar Villareal Torres

*Especialista en Gerencia en Salud Ocupacional.
Fundación Universitaria del Área Andina. guio.villato@yahoo.es*

Javier Díaz Casagua

Ingeniero Industrial. Corhuila. javierdiazc9@hotmail.com

RESUMEN

La biorremediación surge a mediados del siglo veinte como un mecanismo para remediar los suelos que han sufrido alteración en sus componentes y que le ocasionan daño a este ecosistema no renovable y que es base fundamental para la vida tanto humana, como animal, y desde luego para toda la amplia variedad de plantas que le suministran alimento a las personas en todo el mundo. Los daños provienen de la exploración, explotación y transporte del petróleo y sus derivados, unos hidrocarburos son aromáticos y otros alifáticos, y sobre el uno y el otro se aplica la biorremediación, en este proceso se recurre a microorganismos que tienen amplio metabolismo y poder de síntesis para degradar las sustancias que afectan el suelo y los ecosistemas circundantes.

El objetivo de realizar esta investigación es observar cómo procesos microbiológicos, con procedimientos adecuados en los que se debe tener en cuenta, cambios de temperatura, pH, concentración y calidad de los productos sobre los que se va a actuar, tienen la capacidad de responder a la biorremediación para restaurar el suelo que es un sistema no renovable y que se ha afectado por derrames de hidrocarburos.

En este artículo se observa que dentro del amplio campo de las bacte-

rias hay dos que han demostrado mayor capacidad para degradar los compuestos presentes en los hidrocarburos y ellas son las del género *Pseudomona* que por tener amplias características morfológicas y bioquímicas le permite actuar más rápido y con mayor eficiencia en la biorremediación. El *Acetino-bacter* solo no ofrece la misma efectividad, por ello tiene necesidad de ser bioaumentado y bioestimulado, pero a pesar de ello es el segundo género que facilita la biorremediación de los suelos contaminados.

Sólo se hace referencia a estos dos géneros porque otras bacterias que se han utilizado en distintos estudios no han mostrado la misma efectividad en la degradación de los componentes del crudo, por tener amplia capacidad metabólica y enzimática que les permite tomar como fuente de energía y sustrato los hidrocarburos derivados del petróleo.

Una vez analizado con cuidado los artículos que se tomaron para este estudio se puede concluir que la biorremediación es un proceso que se logra implementar en Colombia, en las zonas de explotación del petróleo y sus derivados, por varios aspectos que son: no es costosa su implementación, es amigable con el medio ambiente, las comunidades no ven afectado su alrededor, es viable

y fácil su ejecución. Otros países que han realizado estudios de biorremediación que se tomaron como base para la ejecución de este artículo, no dicen con qué grupo de bacterias trabajaron, por

lo tanto, no es factible comparar sus resultados con los obtenidos en Colombia, sólo dicen que la biorremediación es un procedimiento viable para aplicar en los suelos contaminados.

Palabras clave: biorremediación, bioestimulación, bioaumentación, hidrocarburos.

ABSTRACT

Bioremediation comes to mid-twentieth century, as a mechanism to remediate soils that have been altered in its components and cause damage to this not renewable ecosystem; which it's fundamental for both human and animal life and certainly to the wide variety of plants that provide food to people worldwide. The damages come from the exploration, exploitation and transportation of oil petroleum and its derivatives; some of these are aromatic hydrocarbons and other aliphatic and on one and the other the bioremediation is applied. In this process, microorganisms with an extensive metabolism and synthesis power are used to degrade substances affecting the soil and surrounding ecosystems.

The objective of this research is observing how microbial processes - with appropriate procedures keeping in mind the temperature, pH, concentration and

quality of the products- have the ability to respond to bioremediation to restore soil that is a non-renewable and has been affected by oil spills.

This article notes that within the broad field of bacteria there are two that have a greater capacity to degrade the compounds present in the oil; these are from the *Pseudomonas* gender that have broad morphological and biochemical characteristics which allows them to act more quickly and with better efficiency in the Bioremediation process. The *Acetobacter*, by itself does not offer the same effectiveness, therefore it has the need of being bio-enhanced and bio-stimulated, but nevertheless it is the second kind that facilitates the bioremediation of contaminated soils. We only refer to these two genders because other bacteria which have been used in several studies have not shown the same effec-

tiveness in the degradation of oil components, due to the fact that they have an ample metabolic and enzymatic capacity which allows them to take as a power source the petroleum hydrocarbons.

Once the articles used on this study were carefully analyzed, it can be concluded that the Bioremediation is a process that it can be implemented in Colombia in the areas where exploitation of oil and its derivatives are occurring. This can happen due to several aspects such

as: it is a process that is not expensive to implement, it is environment friendly, the communities and surroundings are not being affected. The studies conducted by other countries that were taken as the basis for this article, do not mention the type or group of bacteria they worked with; therefore it is not feasible to compare their results with those obtained in Colombia, however it's only mentioned that the bioremediation is a valid procedure to be applied in contaminated soils.

Key Words: bioremediation, biostimulation, bioaugmentation, hydrocarbons.

Introducción

La biorremediación es un proceso y a la vez procedimiento, que países como Argentina, México y Estados Unidos entre otros, están implementando con el objeto de buscar que los suelos afectados por los derrames de petróleo y sus derivados, puedan recuperar sus propiedades iniciales pues estos residuos contaminan el suelo que es un recurso no renovable, y por ende todos los cultivos que en él se puedan dar, e igualmente la emisión de vapores contaminan el medio ambiente y aceleran el cambio climático no sólo en Colombia, sino del mundo, a la vez por la escorrentía del suelo los residuos de los hidrocarburos contaminan los ríos, quebradas y por último los mares destino final de estos (Roldán, 2005).

La biorremediación se empezó a implementar en 1975 (Jamison y Raymond, 1975), utilizando microorganismos como bacterias y hongos, aprovechando sus propiedades metabólicas y las características físico químicas que componen su estructura celular, que les facilita el poder renovar los suelos afectados. De esta manera toman los residuos que contaminan el suelo y el medio ambiente convirtiéndolos como fuente de energía y sustento. Las bacterias utilizadas pueden actuar tanto en medios aeróbicos como

anaeróbicos, cualidad que facilita el proceso de biorremediación. Las bacterias empleadas en este proceso son las que tienen mayor poder metabólico, como las del género *Pseudomona* y *Acetinoacter*, que son los dos géneros que se han utilizado preferentemente en los estudios analizados para realizar el presente artículo (Ángel, 2011).

Dentro del género *Pseudomona*, la más efectiva es la *Pseudomona aeruginosa*, que tiene alta capacidad bioquímica, que les facilita adaptarse con facilidad a los suelos contaminados con hidrocarburos, que presentan diferentes características de pH, humedad del suelo, temperatura variable (Nova, 2010).

Pero a la vez que se valoran los componentes del petróleo presentes en el suelo hay que revisar la cantidad de residuos peligrosos (Respel), que generan y como estos pueden afectar, no sólo el suelo donde están sino también el medio ambiente, por lo tanto, donde ellos estén hay que aplicar la biorremediación. Dichos estudios se han realizado en diferentes regiones del país.

Unos estudios se realizaron en la Costa Caribe (Cartagena), otros en Tame (Arauca) y otros en la región de los Llanos Orientales, para tal fin se tuvo en cuenta los cambios de temperatura, pues aunque todas las zonas son de clima cálido en los análisis realizados a nivel del mar, la temperatura varía por el oleaje de este, factor que no ocurre en las otras dos regiones, igualmente el pH varía por las concentraciones, grado de acidez y alcalinidad del suelo en cada región, las condiciones de humedad se deben valorar pues el calor lleva a generar mayor humedad del suelo que se evalúa, con el desarrollo bacteriano pues algunas necesitan mayor o menor concentración de agua (humedad) para su desarrollo también hay que valorar la concentración de los hidrocarburos presentes en el suelo a remediar, igualmente si eran hidrocarburos alifáticos y/o aromáticos, como también las características edefáticas del suelo. Pero no sólo se trabajó con los dos géneros antes mencionados, también se trabajó con *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Brevibacterium* entre otros y hongos como levaduras y *Nocardia*, pero todos ellos debían ser sometidos antes a procedimientos de bioaumentación y bioestimulación, para que realizaran con efectividad la biorremediación, factor que no es necesario con la *Pseudomona aeruginosa* y *Acetinoacter* (Viñas Canals, 2005).

Países como México, Argentina, Ecuador y Estados Unidos han incurrido con éxito en la biorremediación, y acotan resultados favorables, pero en la literatura revisada no mencionan los géneros de bacterias con los que realizaron los estudios, por lo tanto no permite hacer una comparación con los obtenidos en Colombia y hacer una valoración entre unos y otros que permita apreciar la efectividad de los estudios realizados por diferentes grupos de investigación en Colombia (García, 2005).

La biorremediación como mecanismo para recuperar los suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia

La biorremediación es un proceso que busca degradar contaminantes presentes en el agua, el suelo y que afectan el medio ambiente, para lograrlo se incluyen microorganismos que tengan la posibilidad de actuar en condiciones tanto aerobias como anaerobias (Sergey y Navia, 2009).

La aplicación de la biorremediación es una estrategia que permite mejorar los suelos contaminados por derrames y/o explotación de hidrocarburos, con tal fin se han implementado estudios con bacterias, hongos, que han mostrado resultados favorables en su utilización, aprovechando sus características físico-químicas y sus procesos metabólicos que adquieren importancia en la biorremediación, observando que los residuos del petróleo tienen un variado número de sustratos que facilitan el desarrollo de las bacterias y de acuerdo a estos estudios se piensa realizar cultivos de bacterias que garanticen su efectividad en la biorremediación. Entre el amplio grupo de bacterias utilizadas se encuentran la *Pseudomona aeruginosa* y las del género *Acetobacter s.p.* (Solanas A. M., 2005).

Colombia ha empezado a implementar la biorremediación como un mecanismo que le permita, mejorar el manejo correcto de los residuos peligrosos, que han contaminado el suelo, el agua y el aire generados por la extracción, transporte y manejo de hidrocarburos en nuestro país en los últimos 18 años, aunado a ello, se encuentra el terrorismo desatado contra la infraestructura petrolera de Colombia. Esta continua manipulación de los hidrocarburos, que se encuentran en el suelo impiden el intercambio gaseoso entre el suelo y el aire, factores que están llevando a la contaminación

del medio ambiente, sea líquido, gaseoso y/o el suelo, todo tiene agentes que varían de acuerdo a las propiedades físico-químicas de los hidrocarburos presentes en el medio ambiente, dado que cada uno tiene propiedades químicas que los caracteriza y en los que se deben tener presentes condiciones como la temperatura, el pH, la humedad, y la concentración de estos hidrocarburos que lleva a que el proceso se haga más lento, pero además hay que tener presente la toxicidad de los productos que dificulta el proceso de recuperación del suelo y para evitarlo y/o mejorarlo se plantea la biorremediación como una alternativa saludable para evitar que continúe el deterioro del medio ambiente.

En un estudio presentado por Guevara (2006) con el fin de revisar la disposición y manejo inadecuado de residuos peligrosos en suelos contaminados con petróleo y/o sus derivados y aplicar la biorremediación, se recurrió al Centro de Estudios Microbiológicos del Medio Ambiente y Bioprospección (MAC). El terreno analizado fue ubicado en los Llanos Orientales por un periodo de 15 años analizando diferentes pisos térmicos con niveles superiores a 400 ppm, de hidrocarburos de petróleo, en que la biodegradación del xilol y el tolueno, entre otros, han obligado a la implementación de técnicas de biodegradación. Es pertinente tomar en cuenta también la temperatura, el pH, la humedad, la concentración y la toxicidad de los hidrocarburos presentes en el medio ambiente (Benavides, 2006).

El estudio fue de tipo retrospectivo y se realizó con el ánimo de neutralizar las sustancias tóxicas que generan los hidrocarburos poli aromáticos (PHA), en ecosistemas forestales y plantas madereras, que han presentado necrosis foliar. Se concluyó que es necesario verificar que la normatividad que existe tanto nacional, como internacionalmente se aplique para evitar y minimizar el inadecuado manejo de los RESPEL, con respecto a hidrocarburos derivados del petróleo (Guevara, 2006).

La importancia de recurrir a bacterias del grupo de las *Pseudomonas aeruginosas*, se debe a la gran variedad de morfo tipos que las caracterizan tanto morfológicamente como en su aspecto bioquímico, que les facilita su adaptación a los suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo, pero a la vez se ha observado que actúan con más rapidez sobre hidrocarburos de bajo peso molecular, pero que los hidrocarburos poli-cíclicos tienen menos capacidad de biodegradación debido a que presentan mayor

hidrofobicidad. Este es un estudio retrospectivo con muestras tomadas en la refinería de petróleo y sus alrededores, y en cuatro hábitats de microorganismos marinos estos son: biopelículas, sedimentos y/o lodos, neuston y aguas superficiales, en todos estos hábitats se encontró la presencia de la *Pseudomona aeruginosa*, que demuestra la alta capacidad que tiene esta bacteria de degradar compuestos del petróleo, la selectividad, su tolerancia, y adaptación a medios contaminados por hidrocarburos (Garzón, s.f.).

El éxito de la biorremediación está sujeto a los microorganismos que se utilicen en dicho proceso y el comportamiento que presentan frente a los hidrocarburos derivados del petróleo y el comportamiento que presentan frente a dichos agentes y sus características bioquímicas y la composición de su pared celular y que en el caso de la *Pseudomona aeruginosa* es también la alta concentración de lipo polisacáridos en la pared celular que le facilita la formación y estabilización de emulsiones de hidrocarburos en sistemas acuosos que contribuyen al incremento en la superficie de ataque pero de acuerdo a la descripción encontrada en el documento publicado en *Bio-médicas* (2010) hay estudios que han recurrido a bacterias de otro género, como el *Acetino-bacter*, las Flavobacterias y *Bacillus*, que han demostrado probabilidad de ser utilizadas para realizar la biorremediación, pero la documentación revisada muestra que el género *Pseudomona*, con su especie aeruginosa es hasta el momento la que ha presentado mayor efectividad en ese mecanismo pero el *Acetino-bacter* ha mostrado efectividad cuando se somete a la bioestimulación y bioaumentación, y estos dos mecanismos también se pueden aplicar para los géneros *Flavobacterium* y *Bacillus*, pero para obtener buenos resultados hay que realizar los mecanismos de bioaumentación y bioestimulación para que dichas bacterias puedan realizar mejor la biorremediación, mecanismos que demoran la ejecución de la biorremediación cosa que no ocurre con el género *Pseudomona* (Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, 2005).

Para aplicar la biorremediación en suelos contaminados por petróleo y sus derivados, de diferente peso y estructura molecular unos de baja complejidad como el gas metano y otros como los alquitranes y bitúmenes que se presentan en cadenas lineales, ramificados en anillos condensados que le dan características físico químicas, siendo este el punto estructural sobre el que deben actuar las bacterias como el *Spirillum*, *Arthrobacter* y

la *Nocardia* (hongo), que fueron utilizados en este experimento de biorremediación, permite comparar el comportamiento de unas y otras bacterias (*Pseudomona*) frente a los compuestos del petróleo (Miluska, 2006).

Analizando estudios de los mecanismos utilizados en el país como el que hizo la Universidad de los Andes, con tratamiento de micro contaminantes, hidrocarburos, y metales pesados se observa que la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente, permite que se evidencie que los microorganismos del género *Pseudomonas*, utilizadas en las regiones de Tame (Arauca), una vez más han demostrado su efectividad en el proceso de biorremediación (Dussán Garzón, 2009).

Aunque allí se utilizaron otro grupo de bacterias de los géneros *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter* que se han sometido a bioaumentación, bioestimulados y que, igualmente, fueron utilizados en tratamientos de lodos aceitosos en la región de Casanare.

Estos dos estudios muestran la gran variedad de microorganismos que potencialmente pueden brindar un valioso aporte en el estudio de la biorremediación, para ser aplicada en Colombia especialmente en las zonas de explotación petrolera y que pueden actuar sobre compuestos aromáticos, alifáticos, poli aromáticos y metales pesados. Al realizar este proceso de biorremediación, que permite desarrollar una práctica amigable con el ecosistema, sin necesidad de introducir especies foráneas y sin emplear otros mecanismos que afecten el medio ambiente y que pudieran afectar las concentraciones de CO₂, el efecto invernadero, y el cambio climático tan afectado hoy en día por la emisión de agentes contaminantes (Garzón, s.f.).

Al comparar los estudios realizados en diferentes áreas del sector de petróleos, se observa que la biorremediación es un buen mecanismo para lograr la descontaminación de los suelos, pero se deben mirar igualmente las ventajas y desventajas que presenta, y cómo las bacterias juegan un papel importante en el mecanismo de la biorremediación, por la capacidad metabólica que tienen de utilizar ciertos compuestos en su desarrollo, pero también se observa que hay hongos que pueden realizar procesos metabólicos, de degradación, pero no con la misma eficacia que las bacterias (Torres Delgado, 2009).

En este estudio retrospectivo, se aprecia que bacterias como el *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Vibrio* y la *Pseudo-*

mona, son eficientes en la biorremediación, siendo la última la que mejores resultados ha aportado en los estudios precedentes, pero que estimulan los estudios dado que la biorremediación es un mecanismo eficiente, no invasivo, económicamente viable, y por ser un proceso natural tiene buena aceptación por la opinión pública (Torres Delgado, 2009).

A lo largo del estudio de suelos contaminados por petróleo en la región Caribe, especialmente en Cartagena, donde el suelo se ve afectado por los efluentes que emanan del sector industrial y agrícola-industrial también por el transporte de dichos productos y los residuos que brotan de ellos, con altas sustancias tóxicas que alteran el ecosistema y el Medio Ambiente, estas alteraciones de los suelos ha llevado a estudios que permitan la implementación del uso de bacterias y hongos con capacidad de realizar la biorremediación, diferentes a la *Pseudomonas*, que es la bacteria insigne en dicho mecanismo, muestra que estudios con *Bacillus s.p.*, *Rodhococcus*, *Micobacterias*, *levaduras* y *Micromycetos* (los dos últimos son hongos (Echeverry, 2011), tienen capacidad de utilizar energía derivada de los compuestos orgánicos, e igualmente se observó que estos microorganismos tienen amplio poder enzimático, propiedades que se pueden utilizar para la biodegradación de los compuestos de los hidrocarburos, este estudio retrospectivo aisló previamente las bacterias y hongos enunciados, y las sometió a un mecanismo de enriquecimiento primero por una semana, luego por tres semanas, para seleccionar aquellas que mostraron mayor efectividad en el proceso aspecto que le da alta confiabilidad y permite utilizarlas en el presente y en el futuro, pero los estudios con las bacterias del género *Pseudomonas* ofrecen resultados eficientes sin necesidad de ser sometidas a enriquecimiento, bioestimulación y/o bioaumentación, las hace más efectivas en el proceso de biorremediación. Frente a otros microorganismos utilizados, desde luego no se pueden descartar en los estudios (Jaramillo, 2011).

Comparando los estudios realizados en Colombia, con los ejecutados en Estados Unidos, se puede concluir, que la biorremediación de petróleo diesel en el suelo, puede ocurrir por atenuación natural o tratado con bioaumentación y/o bioestimulación; en este estudio retrospectivo, se evaluaron tres tecnologías en la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), en los suelos contaminados, se observaron las propiedades de los microorganismos y del suelo que tienen su asiento allí y que por obvias

razones pueden incidir en el mecanismo de la biorremediación, motivo que lleva a realizar un estudio previo, para valorar estas características y proceder en la aplicación de la biorremediación y saber qué tipo se aplica en dichos suelos (Bento, 2004).

El diesel es uno de los más complejos para valorar por tener una mezcla de alcanos y compuestos aromáticos, que se presentan con frecuencia en los sitios donde hay mayor derrame del producto. Con tal fin uno de los mecanismos utilizados para la restauración de los suelos contaminados, es utilizar microorganismos que tengan la capacidad de degradar los compuestos tóxicos en el proceso de biorremediación, que es un proceso de “limpieza” de los suelos contaminados, es de fácil aplicación, con capacidad de cubrir amplias extensiones de terreno y poder para destruir los contaminantes presentes en el suelo (Bento, 2004).

Para garantizar una aplicación efectiva del proceso de biorremediación hay que evidenciar la remoción de los contaminantes agentes de la contaminación de los residuos del petróleo. En este mecanismo se debe evidenciar que la velocidad de degradación es y debe ser mayor que la tasa de descontaminación. La biorremediación de aceite de diesel presente en el suelo, puede ser ejecutada por microorganismos autóctonos, para tal fin se introduce Oxígeno y nutrientes en el suelo (bioestimulación), o mediante la inoculación de un consorcio microbiano enriquecido (bioaumentación). En la mayoría de los estudios revisados para mejorar la biorremediación de los residuos de hidrocarburos, depende de la población microbiana, específica que se ve afectada por las condiciones ambientales y obviamente por la composición de los hidrocarburos (Bento, 2004).

Retomando los estudios que se realizan en Colombia, se encuentra que el Centro de Investigación Microbiológica (CIMI) particularmente el de Microbiología Ambiental y Bioprospección (MAB), realizó estudios en los diferentes pisos térmicos de Colombia, con énfasis en los Llanos Orientales y desde el sur hasta el norte en los últimos 15 años ha aislado microorganismos de ambientes contaminados con hidrocarburos en 400.000 p.p.m. en lodos que sufren esta afectación, observando que compuestos de tolueno, xileno, fenol y naftaleno, se han utilizado procedimientos con cromatografía de gases, y presión de selección de un sustrato que limite la acción de los agentes. Y se encuentra que dentro del grupo de microorganismos prevalecen:

la *Pseudomona*, *Acitenobacter*, *Ralstonia*, *Bacilos* y *Crysobacterium*, en este estudio nuevamente se evidencia que la *Pseudomona* hallada en la región de Tame en Arauca se han empleado en procesos de biorremediación en lodos aceitosos de la región. Pero a la vez han realizado estudios aplicando la unión de 10 grupos de bacterias (consorcio), de *Flavobacterium* y especies del género *Bacillus*, que se han sometido al proceso de bioaumentación y bioestimulación, para tratamientos continuos de lodos aceitosos, que provienen de crudo pesado (AP), pero igualmente lo han aplicado en crudos medianos y livianos, en estos estudios realizados en un lapso de 45 días se han obtenido resultados favorables, y que muestra la gran variedad de microorganismos a los que puede recurrir el país para desarrollar procesos de biorremediación exitosos en el campo del petróleo (Dussán Garzón, 2009).

La Universidad de Medellín ha incursionado en estudios de biorremediación y en este analiza las ventajas y desventajas de la biorremediación, igualmente valora las condiciones del crudo, la clasificación de acuerdo a la API y cómo se comportan frente a determinadas condiciones. Y su comportamiento frente a diferentes microorganismos como la *Pseudomona*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium* y *Flavabacterium*. El proceso de biorremediación es eficiente porque, es una tecnología no invasiva y no requiere mecanismos extraños, ni mecánicos para cumplir su objetivo de restaurar los suelos contaminados, no afecta el medio ambiente y cuenta con buena acogida por la población (Betancourt Galvis, 2010).

Los estudios permiten observar que tanto los trabajos realizados “in situ” y “ex situ”, ofrecen una buena alternativa para remediar los suelos afectados, pero en los experimento efectuados “ex situ” los resultados han sido más efectivos ya que permiten controlar las variables de los resultados, pero a la vez son más costosos, porque hay que transportar los suelos contaminados al sitio de estudio. En cambio los estudios “in situ”, ofrece mejores resultados, cuando se aplica en suelos permeables y los horizontes sub-superficiales (González, 2011).

Pero sea uno u otro tratamiento que se aplique en el proceso de la biorremediación, la velocidad a la que actúen los microorganismos seleccionados dependen de su concentración, de las características del suelo, la cantidad de oxígeno presente, de los nutrientes del pH, la humedad y la

temperatura. Y desde luego para obtener óptimos resultados, antes de iniciar la biorremediación se deben estudiar las características edáficas del suelo y el nivel de contaminación del suelo al que se le va aplicar el proceso (Torres Delgado, 2009).

A lo largo de los estudios se ha observado que diferentes microorganismos tienen capacidad de interactuar en el proceso de eliminación de los HAPs tanto en los ecosistemas marinos como terrestres, siendo la degradación microbiana el principal proceso de descontaminación natural (Prince 1993; Sutherland et al., 1995), de ahí la importancia de tener un adecuado conocimiento de las características metabólicas, físico-químicas de los géneros que se van a utilizar en la biorremediación. El crudo del petróleo se caracteriza por ser una matriz contaminante, con alta capacidad de compuestos, Para obtener óptimos resultados hay que aplicar todos los procedimientos necesarios que faciliten un mecanismo de biorremediación exitoso. La alternativa es realizar cultivos mixtos de bacterias y seleccionar las que presentan mayor capacidad metabólica, lo que también se conoce como consorcios definidos o no definidos estos últimos son los que se someten a mecanismos previos de enriquecimiento.

Pero a la par de los estudios de biorremediación descritos con anterioridad también se han realizado estudios en los que han utilizado lodos residuales (biosólidos) provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que suministra macro y micronutrientes como se observa en este artículo retrospectivo, en el que recurren a biorremediación aeróbica en los suelos contaminados con petróleo y/o sus derivados, los primeros estudios se realizaron en un laboratorio utilizando la relación carbono-nitrógeno 10:1, en este estudio se evaluó la cantidad de nutrientes, la densidad de los productos a remediar y la influencia de la partícula en el proceso de degradación.

En este experimento se observó cómo los lodos residuales tienen la capacidad de estimular los microorganismos con capacidad de actuar sobre hidrocarburos que son los encargados de aportar electrones y ser fuente de carbono, se utilizó la ecuación de óxido-reducción, donde el oxígeno actuó como dador de electrones presentes en el suelo que se le va aplicar la biorremediación. Para obtener buenos resultados en este estudio se debe tener en cuenta. 1. Las características del sitio, 2. Tipo de contaminante, concentración, características físico-químicas, 3. Propiedades físico-químicas y tipo

de suelo a tratar, 4. Costos los lodos residuales pueden ser usados como fuente alterna de macro y micronutrientes y al estimular la actividad microbiana se estimulara una mayor actividad microbiana se logra mayor degradación de los hidrocarburos presentes en el suelo (Martínez Prado, 2011).

Hasta el momento se ha revisado literatura sobre microorganismos como bacterias y lodos residuales, pero al observar se encuentra que igualmente se han hecho estudios con hongos y se encuentra en este grupo los hongos del grupo ligninolitos, que presentan actividad enzimática que actúa en un ambiente extracelular, utilizando radicales libres que permite la presencia y actuación de enzimas catalíticamente activas sobre sustratos de origen orgánico. En este estudio retrospectivo, se utilizó la especie *Pleurotus ostreatus* y el experimento se realizó *ex situ*, en los laboratorios ESPOCH,, donde se determinó la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), con técnicas de cromatografía antes y después del tratamiento con el hongo (Salinas-Martínez, 2010).

Este estudio permite observar como el hongo *Pleurotus ostreatus*, realizó con eficacia proceso de biorremediación en suelos contaminados con petróleo y/o sus derivados, y a la vez ofreció buenas perspectivas tanto para los habitantes del sector donde se realizó el estudio e igualmente los resultados arrojaron beneficios para el medio ambiente (Salinas-Martínez, 2010).

En la Universidad Colegio Mayor del Rosario se han realizado estudios de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, con la metodología de la dinámica de sistemas, analizando la dinámica del crecimiento de los microorganismos descontaminantes y su uso en la biorremediación aquí se estableció la relación entre la cinética del crecimiento y la capacidad de biodegradación de los microorganismos en el suelo (Danny W., 2011).

Conclusiones sobre la biorremediación en Colombia

Al hacer la revisión de varios artículos sobre la aplicación de la biorremediación en Colombia, se observa que el país tiene interés en mejorar las condiciones de los suelos afectados por derrames en la exploración, explotación y transporte del petróleo. Los estudios se han realizado en diferentes regiones donde hay exploración de campos petrolíferos, como los Llanos

Orientales aquí llevan aplicando mecanismos de biorremediación 15 años y han observado buenos resultados, teniendo en cuenta los diferentes pisos térmicos de la región, e igualmente han valorado las condiciones del pH, la salinidad del suelo y los contaminantes sobre los que van a aplicar la biorremediación.

Los estudios realizados en la región Caribe, especialmente en Cartagena, han valorado los diferentes efluentes que contaminan el suelo como son los residuos del petróleo, los que generan las empresas del sector agroindustrial, que muestran como dichos residuos no sólo afectan el suelo y sus ecosistemas, sino que están afectando el medio ambiente y aceleran el cambio climático tan afectado hoy en día.

También se han realizado estudios en la región del Casanare y Arauca, especialmente en Tame, y varias universidades como la del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, la Universidad Javeriana de Bogotá, y la Universidad Bolivariana de Medellín, han brindado su apoyo en los diferentes estudios de biorremediación en los que se utilizan bacterias del género *Pseudomona aeruginosa*, por su amplia capacidad metabólica, el variado número de enzimas, y la capacidad que tiene de adaptarse a los diversos climas, condiciones de humedad, pH, y el *Acetino bacter*, que igualmente en los lugares donde se ha utilizado, se han observado resultados favorables de biorremediación en los suelos afectados, pero su proceso es demorado, para que sea más efectiva su acción lo han sometido a la bioaumentación y bioestimulación; en general los estudios realizados en el país han realizado el proceso de biorremediación con este grupo de microorganismos y han obtenido buenos resultados.

Estudios en otros países

Así como en Colombia se han realizado estudios de biorremediación, utilizando microorganismos, de igual forma en países como la Argentina también lo han hecho y uno de ellos muestra que durante cinco años se aplicó sobre condiciones edefoclimáticos tratamiento sobre los suelos contaminados en la región centro-oeste Argentina. Este estudio retrospectivo muestra los resultados obtenidos para analizar el alcance y la viabilidad de utilizar microorganismos en la biorremediación y suelos semidesérticos (Ercoli, 1998).

Los estudios muestran como los agentes microbianos tienen la capacidad para atacar cadenas de hidrocarburos de alto peso molecular y se observa como el proceso degradativo se ejecuta en condiciones nutritivas ambientales adecuadas y la concentración mínima de microorganismos que actúan sobre los hidrocarburos. Pero es preciso conocer la concentración inicial de hidrocarburos sobre los que van actuar los microorganismos, pues permite valorar el alcance del mecanismo dado que si la concentración de hidrocarburos es baja, el resultado no sería óptimo y habría que buscar mayor extensión de terreno contaminado, para obtener resultados confiables en el estudio. El efecto preponderante indica que en la fase de lactancia y/o adaptación de los microorganismos es menor cuando utilizaron agentes bacterianos nativos y en este estudio fue de 50%, y paulatinamente fue aumentando el proceso de degradación, pero con el ánimo de valorar exactamente los resultados obtenidos hay que ubicar el problema de la contaminación de los suelos por hidrocarburos, en el contexto jurídico ambiental y económico del país, y con base en este marco analizar los resultados obtenidos (Ercoli, 1998).

Para este caso particular, se observa que en la provincia de Mendoza hay temperaturas extremas pues en verano alcanzan 72° y en invierno son de - 2° y en este el proceso de degradación es lento pero continuo, pero a pesar de estos cambios los resultados son coincidentes con lo esperado. En la Provincia de Mendoza en Argentina se utilizó la técnica *land-farming* biorremediación, es ecológicamente aceptable, no hubo emisión de gases contaminantes, ni emisión de vapores, como los suelos son alcalinos, no hubo necesidad de corregir el pH y tampoco el estudio mostró inhibición de los microorganismos utilizados en el estudio, pero que desafortunadamente no mencionan específicamente, que nos permitiera comparar con los utilizados en Colombia (Ercoli, 1998).

México es otro país que ha incursionado en estudios de biorremediación aeróbica y lo hizo con estudios en suelos contaminados con hidrocarburos (HCs) de petróleo empleando lodos residuales (biosólidos), provenientes de una planta de aguas residuales (PTAR) domésticas de la localidad, utilizadas como fuente alterna de macro y micro nutrientes, la contaminación de los suelos fue accidental por derrames de diesel-aceites de la comunidad minera de San Antonio, perteneciente al grupo Gold Corp de México,

los experimentos se ejecutaron en Laboratorio-piloto y estaban ajustados a la capacidad del campo y en relación C= N, 10:1, en este estudio se evaluó la cantidad de nutrientes, la densidad del suelo que se va a remediar y el tamaño de la partícula que sufre la remediación, el estudio evidenció que los microorganismos nativos del lugar fueron los responsables de realizar la biorremediación, pero como en el caso anterior no se evidencia el género de microorganismo utilizado en el estudio que nos compruebe si han sido los mismos que se han utilizado en nuestro país (Rodo, 2006).

Por obvias razones Estados Unidos no ha sido ajeno en aplicar estudios de biorremediación, aplicada en los vertimientos de crudo en zonas contaminadas y ello se evidencia en el estudio que se analiza en el presente artículo, que señala qué daños ocasionados por dichos vertimientos pueden darse tanto a corto, como plazo que puede tomar varios años en su aplicación y resultados. Los estudios evidencian la utilización del proceso metabólico de las bacterias, hongos, que tienen la capacidad de degradar los hidrocarburos, utilizando los mecanismos de bioaumentación (introducir poblaciones microbiológicas) viables y/o la bioestimulación de microorganismos autóctonos, unos y otros se deben seleccionar de acuerdo a las condiciones tanto bióticas como abióticas que juegan papel importante en la biodegradación, los abióticos se relacionan con los contaminantes y las condiciones medio ambientales y los bióticos se relacionan con los microorganismos (Bento, 2004).

Los estudios demuestran que la biorremediación es un desarrollo emergente y se ha convertido en la mejor aplicación de la biotecnología, utilizando mecanismos de origen biológico para la restauración y/o saneamiento del suelo contaminado, Los microorganismos utilizados son bacterias, hongos, algas que tienen capacidad de degradar una amplia gama de agentes contaminantes, y serán utilizados de acuerdo a sus características y propiedades bioquímicas esenciales que brindan mejores resultados, pero este estudio no especifica el nombre de las bacterias y/o hongos que utilizaron en su realización (Martín, 2011).

Estudios realizados en Cuba, evidencian que la industria del petróleo hoy en día se encuentra abocada a las exigencias internacionales para obtener productos más limpios, que durante el proceso de producción ocurran menos derrames y que ellos sean más amigables con el medio ambiente, por

ello, deben dar cumplimiento a la exigente normatividad que en materia de preservación y mantenimiento de las condiciones ambientales requieren, por tal motivo la CUPET, está implementando medidas de seguridad dentro de estas exigencias y lo ven como un cumplimiento de nuevas oportunidades y desafíos con capacidad de brindarle mayores expectativas de comercio tanto en la Isla como a nivel internacional. De ahí surge la importancia de una mejor biotecnología que le permita mejorar las barreras tecnológicas para el mejoramiento del petróleo y el gas, igualmente reducir los costos de inversión y el daño que ocasiona contaminando el medio ambiente (Rosabal, 2009).

Por tal motivo la biorremediación en suelos contaminados con petróleo se utiliza para disminuir la toxicidad y limpiar los compuestos del crudo, este proceso se basa en la capacidad que tienen los microorganismos de biotransformar compuestos orgánicos que convierten en menos tóxicos y/o que son más fáciles de degradar. Al aplicar la biorremediación se reducen notablemente los agentes que contaminan el suelo y como se ha dicho con anterioridad utiliza la bioaumentación y bioestimulación. En Cuba el CEIN-PET, ha desarrollado tecnología para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos y residuos sólidos petrolizados, esta tecnología ha dado buenos resultados, por su bajo costo, fácil aplicación, no requerir equipos sofisticados para su implementación las condiciones climáticas favorables, estas técnicas se aplicaron en la empresa Petrolera de Exploración y Producción-Centro (EPEP-Centro en Varadero). Es un estudio retrospectivo, pero como cosa curiosa dicho estudio tampoco enuncia las bacterias u hongos empleados en el proceso de biorremediación (Rosabal, 2009).

Conclusiones de los estudios realizados en los países que se evaluaron para realizar este artículo

Con el ánimo de analizar si la biorremediación es un proceso efectivo para restaurar los suelos afectados por los derrames de petróleo y sus derivados, se revisaron varios artículos, acerca de su aplicación en países como Cuba, México, Ecuador, Chile, Argentina y desde luego en Estados Unidos, todos evidencian que han obtenido buenos resultados, aplicando microorganismos en suelos afectados con hidrocarburos, alifáticos, aromáticos y diesel,

los microorganismos evidencian que tienen capacidad de mejorar las condiciones del suelo, restaurando sus propiedades físico-químicas y disminuyendo el daño ambiental que ocasionan los derrames de crudo. Desafortunadamente ninguno de los países en mención dicen que tipo de bacterias u hongos utilizaron en los estudios realizados por ellos, lo que no permite comparar esos estudios con los realizados en Colombia, para evidenciar la efectividad de la *Pseudomona* y el *Acetino bacter* que son los microorganismos utilizados en el país. Lo único que nos permite este análisis es observar que los microorganismos si tienen capacidad de regenerar los suelos afectados por derrames de petróleo y sus derivados, que es un procedimiento efectivo, no costoso, y viable de aplicar en diferentes pisos térmicos, con pH tornadizo y condiciones de humedad variables.

¿Es la biorremediación un proceso importante para restaurar suelos afectados por derrames de petróleo y sus derivados?

La industria de hidrocarburos en el mundo y por ende en Colombia, no ha sido ajena a los contaminantes del suelo, del medio ambiente y los ecosistemas que lo componen. Observando que el suelo es un recurso no renovable lo convierte en eje central de desarrollo, tanto agrícola, como industrial en este último se incluye la explotación del petróleo y sus derivados, los estudios (inclusive los analizados en el presente artículo), demuestran diferentes variedades físico-químicas, para controlar o mitigar los efectos nocivos de la contaminación por hidrocarburos, pero igualmente hay mecanismos biológicos que aportan mecanismos favorables y que no ocasionan daño ni a la población ni al medio ambiente y los ecosistemas circundantes.

Las técnicas de descontaminación se utilizan para restaurar los suelos afectados por los derrames de crudo independiente de la naturaleza de este, para obtener su recuperación se utiliza la biorremediación que utiliza el poder metabólico de las bacterias y hongos que se utilizan en este mecanismo. Como las del género *Pseudomonas*, y del género *Acetino bacter*, que han demostrado capacidad de transformar estos residuos en sustancias menos dañinas tanto para el hombre como para el medio ambiente (Benavides, 2006).

Pero en el estudio que estamos analizando se introdujo una variable el “*land-farming*”, que consiste en aplicar mecanismos de estimulación

metabólica a las bacterias para observar su crecimiento y comportamiento frente a los agentes contaminantes, desde luego para obtener resultados confiables hay que tener aspectos como su crecimiento bacteriano, condiciones del suelo y el manejo de los residuos peligrosos (RESPEL) generados y que están en el lugar (Danny, 2011).

Igualmente, los derrames de crudo afectan el suelo colombiano y el intercambio gaseoso que se da continuamente, que ocasionan daño físico-químico, pero en el presente caso los componentes del crudo que permanecen en el suelo, ocasionan daño físico-químico conjuntamente en la absorción y evaporación de los compuestos, pero hay que observar las características del hidrocarburo, la temperatura y la humedad del suelo, pues estos factores pueden acelerar y/o desacelerar la contaminación del suelo y del medio ambiente, a la vez que pueden ocasionar toxicidad con graves perjuicios a la salud de las personas y al medio ambiente donde tienen su asiento (Benavides, 2006).

Pero además en el artículo que se está valorando, aparece otra variable, hasta el momento no observada en los artículos mencionados con anterioridad y es la salinidad del suelo que tiene la capacidad de romper las cadenas terciarias de las proteínas, desnaturalizar enzimas, y deshidratar las células uno u otro mecanismo acarrear graves daños en los ecosistemas del entorno (Benavides, 2006).

Como se dijo anteriormente la salinidad de los suelos es otra variable que demuestra como la concentración de las sales favorece o desfavorece el comportamiento de los microorganismos en los suelos, y para observar el real comportamiento de dichos agentes microbianos se cambió presencia de sales por derrames de hidrocarburos (ACPM y/o petróleo crudo), y en el estudio fue posible aislar 31 cepas, y de ellas se seleccionaron las que presentaron mejor comportamiento frente a las sustancias del crudo, pero a la vez aplicaron cultivos mixtos, pero se varió la concentración del ACPM, este experimento duro 21 días, también se evaluó las unidades de biomasa, como unidades formadoras de colonias (UFC) por ml, estos estudios permitieron hacer una curva de crecimiento y comportamiento de los microorganismos y frente a los hidrocarburos se valoraron por estudios de cromatografía de gases unidos a la masa. Se demostró que las bacterias actuaron sobre los hidrocarburos alifáticos, y no sobre los aromáticos e igualmente se valoró la

actividad enzimática de las bacterias. Dentro del grupo de bacterias utilizadas se encontraron la *Klebsiella*, *Flavomonas*, y *Enterobacter* que demostraron alta capacidad enzimática para degradar hidrocarburos alifáticos, pero en este estudio no utilizaron *Pseudomonas* ni *Acetivobacter* que si fueron utilizadas en estudios descritos anteriormente y que permitiría hacer una comparación entre estas y las empleadas en el estudio del artículo en mención (Narvaez Flórez, 2008).

Los suelos alcalinos contaminados con hidrocarburos aromáticos tienen alta presencia en Colombia, son recursos no renovables, son contaminantes ambientales que persisten en los ecosistemas terrestres y tienen además propiedades carcinogénicas, y que motivan al estudio de mecanismos y/o estrategias apropiadas de biorremediación y fitorremediación; observando que los suelos alcalinos son ecosistemas ambientales extremos, donde los procesos de nitrificación y degradación de celulosa son inhibidos.

No se conoce la capacidad de estos suelos para degradar los hidrocarburos poli cíclicos aromáticos y de los factores que limitan dichos procesos en medios salinos artificiales. Pero igualmente se observan resultados diferentes cuando los microorganismos actúan sobre suelos salinos naturales ya que los microorganismos nativos del lugar están adaptados a las condiciones de salinidad del suelo, pero también hay que observar las condiciones de los nutrientes (bacterias y hongos), sobre cada uno de los procesos (Galvis, 2003).

La biorremediación también se ha aplicado para descontaminar aguas marinas, y abre un proceso esperanzador para restaurar las aguas que por una u otra razón se han contaminado con hidrocarburos. La limpieza de las aguas contaminadas puede hacerse por medios físico-químicos y/o biológicos siendo estos últimos de mayor preponderancia biotecnológica. Esta es propiamente la biorremediación que utiliza los microorganismos para reducir naturalmente concentraciones y toxicidad en los sitios contaminados removiéndolos o dispersándolos en el ambiente. Los microorganismos indígenas presentes en el agua tiene la capacidad de degradar los compuestos hidrocarbureados, aprovechando la presencia del oxígeno disuelto en las aguas que a la vez es un nutriente para los microorganismos (Jaramillo, 2004).

La mayor contaminación por TPHs se produce especialmente durante el embarque y desembarque de petróleo en los puertos, en Colombia la explotación petrolera ha generado un incremento en los vertimientos de

petróleo y la acumulación de residuos en los ecosistemas, durante la bioestimulación se suministran factores limitantes como nutrientes y aceptores de electrones que estimulan el metabolismo y velocidad de crecimiento de los degradadores factor que acelera las tasas de biodegradación si las condiciones ambientales son favorables (Vallejo, 2005).

Conclusiones de la biorremediación sobre el petróleo y sus derivados

Una vez realizada la revisión de diferentes artículos sobre la biorremediación se puede concluir que es un proceso viable para ser aplicado en Colombia y obtener resultados positivos para remediar los suelos contaminados por hidrocarburos ya sean alifáticos y/o aromáticos o cualquier residuo que se derive de la explotación, exploración, transporte de petróleo a lo largo y ancho del país, aplicando el uso de bacterias del género *Pseudomona* y *Acetino-bacter*, a lo largo de la revisión de artículos se evidencio que estos géneros son los más efectivos para remediar los suelos contaminados, Sin demeritar la actividad de otros microorganismos con los que se ejecutaron otros estudios, pero que mostraron menor relevancia. Además es un procedimiento relativamente fácil de aplicar, tiene bajo costo, han demostrado efectividad frente a características especiales de suelos, cambios de temperatura, pH, y salinidad de los suelos, donde se aplica la biorremediación.

Se evidencia que la aplicación de bacterias es factible de aplicar en los derrames de petróleo, bien en la explotación, exploración y transporte a lo largo y ancho del país, como también los atentados a los que se encuentra expuesto el país, en diferentes regiones de clima variado, pH que puede ser ácido o alcalino e igualmente hay que observar si los derivados son alifáticos, aromáticos, se observa una variable que es la salinidad del suelo, todo este conjunto de condiciones permitieron observar que independiente de ellas la aplicación de microorganismos (*Pseudomona aeruginosa* y *Acetino-bacter*), en la biorremediación para restaurar los suelos afectados se puede aplicar con seguridad y efectividad, pues no es costosa, no daña el medio ambiente, y es aceptada por las comunidades que no ven afectada su integridad, ni sus costumbres ancestrales.

Método utilizado para realizar el artículo

Para la ejecución de este artículo se contó con la asesoría del doctor Jairo E. Mejía A. quien direccionó la búsqueda de los artículos que se ajustarán al tema propuesto, a medida que se encontraba un artículo, se consignaba en una matriz que contenía los siguientes parámetros N.º del artículo, datos bibliográficos, tipo de investigación, síntesis del documento, dimensión del análisis, regularidades en relación con la dimensión, diferencias en relación con la dimensión del análisis, conclusiones en la dimensión del análisis. Todos los artículos se seleccionaban observando que se ajustaran al contenido del estudio que se buscaba y se consignaban en la matriz. Una vez diligenciada y que se organizaron los artículos, se estructuró el artículo, haciendo énfasis en la biorremediación del suelo afectado por los derrames del petróleo y que microorganismos fueron los más efectivos en ese proceso, también se evaluaron estudios en otros países.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángel, C. R. (26 de septiembre de 2011). Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- B. W. (2004). Comparative bioremediation of soli contaminated, with diesel oil natural attenuation and bioaugmentation. California Bioresurce Tecghnology. En B. W. 2004, Comparative bioremediation of soli contaminated, with diesel oil by natural attenuation and bioaugmentation. California Bioresurce Tecghnology.
- Biodegradación de crudo en terrarios, UNMSN (2006). Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Biomédicas, Nova, Ciencias. (2010). Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros. Bogotá.
- Danny W., I. V. (14 de septiembre de 2011). Modelo para biorremediación de suelos contaminados. Una aproximación con dinámica de sistemas. Modelo para biorremediación de suelos contaminados. Una aproximación con dinámica de sistemas. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

- Flórez, S. N. (2008). Selección de bacterias con capacidad degradadora de Hidrocarburos, aislada a partir de sedimentos del Caribe Colombiano. Selección de Bacterias con capacidad degradadora de Hidrocarburos, aislada a partir de sedimentos del Caribe Colombiano. Cartagena, Bolívar, Colombia.
- G.E., J. (2001). Bacterias marinas degradadoras de petróleo como alternativa de solución al problema ambiental en zonas costeras. *Revista del Centro de Investigación y Protección social*, 150-158.
- Galvis, L. B. (2003). Biorremediación de suelos salinos alcalinos contaminados con hidrocarburos aromáticos. Biorremediación de suelos salinos alcalinos contaminados con hidrocarburos aromáticos. Medellín, Antioquia, Colombia.: Facultad de Medicina Universidad de Antioquia.
- García, É. (s.d.). Evaluación de la bioestimulación (nutrientes en suelos), contaminados con hidrocarburos utilizando respirometría. Bogotá: Departamento de Microbiología Universidad Javeriana.
- Garzón, J. D. (s.f.). Aproximaciones biológicas y físicoquímicas en el tratamiento de contaminantes. *Revista de Ingeniería*, 100-111.
- Guevara J., B. (2006). Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos derivados del petróleo. En B. Guevara J., Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos derivados del petróleo (pp. 80 -82). Bogotá.
- J.B., G. (2006, junio). Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos derivados del petróleo. En G. J.B., Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos derivados del petróleo (pp. 80-82). Bogotá.
- J.D., G. (2009). Aproximaciones biológicas y físico químicas en el tratamiento de contaminantes. *Revista de Ingeniería*, 100-111.
- J.G., E. (1998). Experiencia de biorremediación de suelos en el centro oeste Argentino. Provincia de Mendoza. Experiencia de Biorremediación de suelos en el centro oeste Argentino. Provincia de Mendoza. Cuyo, Mendoza, Argentina: Información Técnica Universidad Nacional de Cuyo.
- Jaramillo, G. E. (2011). Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros en la Bahía de Cartagena Colombia. En G. E. Jaramillo, Aislamiento de Bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros en la Bahía de Cartagena Colombia. (págs. -). Cartagena.
- Joaquín Benavides, L. D. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.

- Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- K.T.T., M. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Colombia.
- M.L., A. M. (s.f.). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos contaminados con lodos residuales. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Miluska. (2006). Biodegradación de crudo en terrarios UNMSN. Biodegradación de crudo en terrarios UNMSN. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Montoya, K. T. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Nova. (2010). Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en Hábitats de ecosistemas costeros en la Bahía de Cartagena Colombia. Cartagena: Ciencias Biomédicas.
- O.D.W. (2011). Modelo para biorremediación de suelos contaminados. Modelo para biorremediación de suelos contaminados. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.
- Petróleo y biotecnología. (2009-enero). Análisis del estado del arte y tendencias. ACIMED, volumen 19, n.º 1.
- Roldán, E. G. Evaluación de la Bioestimulación (nutrientes en suelos), contaminados con hidrocarburos. Bogotá: Departamento de Microbiología Universidad Javeriana.
- s. a. (2005). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Barcelona- España: Universidad de Barcelona.
- s. a. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- S., C. E. (2010). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Quito, Ecuador: Facultad de ciencias y agronomía.
- Serger, M., y Navia, R. (2009). Biorremediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos persistentes COPS. Bogotá.
- Solanas A., M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Barcelona (España).

V.V.L., S. (2005). Evaluación de labioestimulación en la degradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Revista Colombia Biotecnología*, 67 - 78.

Y.B., M. (2011). Biorremediation a tool for the management of oil pollution in marine ecosystems.

Washington Laboratorio de Química y Biotecnología. Biorremediation a tool for the management of oil pollution marine ecosystems Washington. Washington, Estados Unidos: Laboratorio de Química y Biotecnología. CEINPET (Centro de Investigación del Petróleo).

El futuro de los tratamientos ambientales: biotecnología vs políticas

Susan Carolina **Robles Vargas**

Ingeniera industrial

Orlando **Pinzón Quintero**

Ingeniero industrial, Especialización en Gestión Ambiental

RESUMEN

Con el presente artículo se pretende cuestionar qué tanto han aportado las investigaciones a nivel de biotecnología en los tratamientos ambientales y cómo se ha acoplado la biotecnología a las políticas ambientales establecidas. En el presente artículo centraremos nuestro estudio en uno de los procedimientos que ha tenido mayores investi-

gaciones, como es la biorremediación, pero debido a su complejidad y su amplia gama de variables no es posible generar un procedimiento cien por ciento eficiente y eficaz y que a su vez no afecte el entorno ecosistémico a nivel químico, físico y biológico, permitiendo así el uso de dicho tratamiento sin restricciones y guiado por políticas claramente establecidas.

Introducción

Tratando de esquematizar la información recopilada y entregada en la matriz de recopilación de artículos investigativos, científicos e informativos se identifican varios temas centrales que están estrechamente ligados, como es el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos y metales pesados, bioindicadores y salud pública.

Todos estos temas comparten un nombre en común, la biotecnología, la cual se ha convertido en una de las estrategias más asertivas en el campo de tratamientos ambientales, pero en la actualidad la biotecnología es un tema muy extenso y difuso para su aplicabilidad, hablando propiamente del caso de Colombia (Vicente, Díaz, Martínez, 1999; Gonzales, Martín, Figueroa, 2004; Bravo, 2007; Nápoles, Abalos, 2006; Dornberger, 2008).

Existen muchas investigaciones asociadas a la biotecnología que quedan con interrogantes por resolver, en manos de los futuros avances tecnológicos por desarrollar o por la falta de políticas claras y concretas para su adecuado uso y aplicación. Se identificará si se está a nivel de los avances biotecnológicos en cuanto al tratamientos ambientales, si hay herramientas suficientes para su aplicación o cuáles deberían ser las estrategias para hacer posible la eficiencia y eficacia total de dichos procedimientos y tratamientos ambientales; y que de igual manera se pueda replicar sin generar ningún tipo de afectación a nivel ambiental y ecosistémico, con el fin de controlar todo tipo de contaminación ambiental, en las diferentes áreas donde posiblemente se generen impactos ambientales de difícil tratamiento como es el caso de los hidrocarburos, la biomasa generada por el tratamiento de las aguas residuales e industriales.

Metodología

Se llevó a cabo una búsqueda en la base de datos, principalmente por internet donde se encontraron 30 artículos, los cuales fueron revisados y estudiados en un periodo de 2 semanas con el fin de identificar qué tipo de artículo o investigación eran. De los cuales 14 son artículos científicos, un artículo tipo informativo y 15 tipo investigativo. El año de publicación de los

artículos varía entre 1980 y 2013. El tipo de estudio de la mayoría de los artículos es experimental, documental, explicativo, descriptivo y exploratorio.

Posteriormente, se identificó el tema del presente artículo, con el objetivo de justificar dicho tema mediante la matriz bibliográfica.

Revisar los resultados de investigaciones y bibliografía concerniente al artículo o tema propuesto.

Generar respuesta a la pregunta o inquietud generada por el tema propuesta, mediante la matriz bibliográfica.

La biotecnología

Una de las principales herramientas usadas durante las investigaciones para el tratamiento, rehabilitación, disminución y prevención de impactos ambientales generados es la biotecnología, la cual consiste, según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2005, citado por Dornbergerl et ál, 2008) en la aplicación de ciencia y tecnología a organismos vivientes, como también a sus partes, productos y modelos para alterar materiales vivientes o no para la producción de conocimiento, bienes y servicios.

La biotecnología puede ser aplicable a diferentes áreas según su fin o uso, según Dornbergerl at ál (2008) se identifican tres:

- **Biotecnología roja:** salud (humana y animal), medicamentos eficientes, nuevas sustancias, reemplazo de órganos y diagnósticos.
- **Biotecnología blanca:** industria, producción eficiente, enzimas, rehabilitación de suelos y desinfección de aguas.
- **Biotecnología verde:** agroalimentos, alimentos funcionales, materia prima renovable, protección de plantas y granjas moleculares.

En este caso, se centrará la atención en la biotecnología blanca, ya que es la usada para las técnicas y procedimientos en tratamientos y acciones correctivas de las problemáticas ambientales y en especial para los procedimientos de biorremediación, pero sin dejar de lado la importancia de la biotecnología verde.

Son muchas las sustancias, compuestos y reacciones que generan afectaciones ambientales, pero en muchos casos son los componentes físicos y químicos propios del medio que en interacción con dichas sustancias generan problemáticas mayores.

El uso de la biotecnología es el común denominador en la matriz planteada, ya que la mayoría de las investigaciones son enfocadas al tratamiento de aguas residuales, tratamiento de suelos y agua contaminados por hidrocarburos, tratamiento de fuentes de agua y suelos por metales pesados y tratamiento de biosólidos; todos ellos en gran proporción, generados por las industrias más expansivas y de mayor generación y crecimiento económico, como es el caso de la extracción y explotación minera, la ganadería y agricultura y la generación de energía. Todas estas actividades económicas desde principio a fin representan y generan un impacto ambiental, y que al final de los procesos es necesario implementar acciones que contrarresten o mitiguen al máximo sus consecuencias y afectaciones (Vicente, Díaz, Martínez, 1999; Gonzales, Martín, Figueroa, 2004; Bravo, 2007; Nápoles, Abalos, 2006; Dornberger, 2008).

Según López Lafuente, los tratamientos biológicos, o tratamientos por biorremediación, son técnicas que se basan en favorecer los procesos microbiológicos que de una forma natural se producen en el suelo y que conllevan la degradación de los contaminantes. El objetivo final es conseguir la mineralización de los contaminantes, esto es, transformar los compuestos químicos nocivos en compuestos inocuos, tales como dióxido de carbono, agua, o materia celular. La microbiología es esencial en este proceso y un conocimiento de la ecología y evolución de las poblaciones microbiológicas degradativas es esencial para el diseño y valoración de cualquier plan de biorremediación que sea eficiente, ecológicamente seguro y medioambientalmente respetuoso.

La biorremediación propiamente es un procedimiento que depende de muchas variantes como: las características químicas de los contaminantes (solubilidad, tamaño de la molécula, su fuerza de absorción) las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, las condiciones medioambientales del lugar contaminado, la disponibilidad de los recursos económicos y los microorganismos requeridos (Bonneau, 1987). Además se debe tener en cuenta que para que haya una eficiencia y eficacia de los resultados durante

las investigaciones realizadas basadas en biorremediación es necesario tener en cuenta las siguientes fases.

Para que sea suficientemente claro se dará una breve descripción de los tipos de microorganismo usados o aplicados durante los procesos de biorremediación, según Eweis, Eegas y Chang, citado por López Lafuente (1999) son los que se exponen a continuación.

Bacterias

Las bacterias son el grupo de organismos más abundantes en el suelo, miles de especies han sido identificadas y probablemente habrá otras miles sin identificar. Debido a su diversidad, las bacterias se encuentran en comunidades heterogéneas, algunas son degradadores primarios, esto es, inician la degradación de los compuestos orgánicos en los suelos, y otras especies crecen en los compuestos resultantes de una primera degradación parcial. Estructuralmente, las bacterias se caracterizan por tener una capa exterior poco organizada compuesta principalmente por polisacáridos (capa mucilaginoso), una pared celular rígida, una membrana celular que encapsula el citoplasma, y la región nuclear. Su tamaño, forma, capacidad de movimiento y características metabólicas determinan su clasificación. En el suelo los géneros más comunes son: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium* y *Flavobacterium*.

Hongos

Los hongos son organismos heterótrofos eucariotas, no tienen movimiento y emplean la materia orgánica como fuente de carbono y energía, pueden presentarse en forma unicelular, aunque generalmente tienen forma filamentosa. Estos filamentos miceliares o hifas están aislados o agrupados en verdaderos cordones (rizomorfos) que van de un sustrato nutritivo a otro. Los contaminantes inorgánicos, caso de existir, son incorporados dentro del tejido celular en cantidades estequiométricas, parecido a como se realiza en el crecimiento de bacterias.

Mohos, levaduras y setas son los hongos más abundantes en el suelo, aunque están en menor número que las bacterias. Tienen un crecimiento más lento, y un proceso metabólico menos diverso. Por el contrario, los hongos son activos a pH más ácidos que las bacterias, muchas especies crecen a pH menor de 5, y son más sensibles a la variación del contenido en humedad. La variedad de especies encontradas en los suelos es muy grande. Encontramos desde las formas más primitivas, *Myxomicetes*, hongos con aparato vegetativo sin forma propia, a los *Ascomycetes*, hongos que tienen el micelio compartido, o los *Basidiomycetes* con micelio tabicado y reproducción sexual.

Un hongo que tiene un considerable potencial en el tratamiento de compuestos orgánicos peligrosos es el *Phanerochaete chrysosporium*, hongo de la podredumbre blanca. Este organismo produce una enzima extracelular, peroxidasa, que altera la lignina en presencia de peróxido. Se ha encontrado que degrada una gran variedad de compuestos altamente clorados y recalcitrantes, incluyendo dioxinas. El uso de este hongo está limitado a suelos con carencia de nitrógeno, ya que este elemento en exceso impide la formación de peroxidasa (Ausr, Fernando, Brock y Tuisel, 1998).

Algas

Las algas, al igual que los hongos, son inmóviles, protistas, con pared celular, algunas son unicelulares y otras son filamentosas o coloniales, tienen estructura similar a plantas con crecimiento multicelular pero no tienen diferenciación real entre las células. La mayoría de ellas son acuáticas, aunque hay géneros que crecen en el suelo. El dióxido de carbono (CO₂) y/o aniones bicarbonatados (HCO₃⁻) sirven como fuente de carbono para el crecimiento, por lo que la energía proviene de la adsorción de la luz por pigmentos fotosintéticos, dando como producto el oxígeno. Su importancia en los suelos es mal conocida, salvo en medios extremos: Helados o tórridos, donde pueden ser abundantes. En estas situaciones forman a modo de costras que impiden los procesos de erosión y evaporación. Las algas no son importantes en el campo de la biorrecuperación, sólo en algunos casos han sido empleadas en la recuperación de sistemas acuáticos, fundamentalmente en la eliminación de nutrientes para impedir procesos de eutrofización.

Las diatomeas (algas del grupo de los cromófitos) intervienen en los procesos de inmovilización de la sílice (Bonneau, 1987).

Protozoos

Los protozoos son protistas que carecen de pared celular, pueden ser móviles o no, se alimentan por predación de bacterias, u otros organismos como levaduras, hongos, e incluso de otros protozoos. Requieren agua para realizar las actividades metabólicas y hay un gran número de especies que se encuentran formando parte de muchos sistemas biológicos. Su carácter depredador se ha puesto de manifiesto en estudios de laboratorio, donde se ha podido comprobar que un solo protozoo consume en algunas ocasiones entre varios cientos y varios cientos de miles de células bacterianas por hora, este número depende del tipo de protozoo y del tipo de bacteria (Paul, 1989).

En los suelos, los protozoos se localizan en la solución del suelo unidos a partículas en suspensión, o en la fase sólida, unidos a los agregados, y juegan un importante papel en el control de la masa microbiana. En estudios realizados en campo se ha comprobado que la cantidad de bacterias consumidas es más baja que en las condiciones de laboratorio, debido probablemente a que las bacterias tienden a colonizar, en forma de agregado, los poros y grietas de pequeño tamaño, lo que impide el paso de los protozoos.

La ingestión que los protozoos hacen de las bacterias ayuda a controlar el crecimiento bacteriano, ocasionando distintos efectos en los suelos. Cuando el crecimiento de bacterias es excesivo y puede impedir el desarrollo de las plantas, o causar obstrucciones del medio poroso, con la consiguiente disminución de la conductividad hidráulica (Sinclair, 1989), el efecto es positivo, pues al disminuir la masa bacteriana ayuda a paliar estos hechos. Por el contrario, cuando como consecuencia de la predación de bacterias se reduce drásticamente el número de especies, los protozoos pueden ser responsables de una alteración del equilibrio entre los diferentes géneros que constituyen la biomasa de los ecosistemas.

En general, los protozoos no son buenos biorremediadores de contaminantes, en ocasiones se emplean por su capacidad de ingerir compuestos orgánicos absorbidos a células bacterianas, o atrapados dentro de secreciones

extracelulares alrededor de las células (Wolfaardt, Lawrence, Headly y Roberts, 1994).

Oportunidades medio ambientales de la biorremediación

La biorremediación son sistemas biológicos que pueden contener o no Organismos Modificados Genéticamente en sus siglas (OMG). La biorremediación consigue la descomposición de contaminantes o su inmovilización a través de la explotación del potencial metabólico existente en microorganismos con funciones catabólicas novedosas desarrolladas a través de selección, o de la introducción de genes que codifican estas funciones por medio de ingeniería genética (García, 2002).

La biorremediación comprende en la actualidad sólo una pequeña fracción del gran mercado de tratamiento de residuos peligrosos, pero es uno de los sectores de mayor crecimiento en la gestión medioambiental (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, 2005).

La biorremediación puede ser utilizada tanto con fines preventivos como con fines de tratamiento post-contaminación de residuos gaseosos (biofiltros) y metales pesados en suelos y aguas contaminadas (fitorremediación). Es necesario realizar una evaluación y un tratamiento específicos para cada caso. La biorremediación de diferentes contaminantes debe estar basada en el conocimiento específico del objetivo químico, los microorganismos requeridos y las condiciones medioambientales relevantes en cada caso. El éxito de la biorremediación va a depender en gran medida de su eficiencia económica. Mientras sea posible trasladar suelo contaminado hasta un vertedero la biorremediación no podrá ser competitiva, y tampoco si se imponen excesivas barreras políticas al desarrollo y utilización de la biotecnología. La degradación in situ de la contaminación debería ser en principio la primera opción a considerar para revertir un impacto negativo sobre el medio ambiente, tanto por razones económicas como por la minimización de la alteración del ecosistema afectado (García, 2002).

La biotecnología puede presentar muchos y numerosos efectos sobre el medio ambiente. Organismos y sistemas biológicos, tienen la capacidad de reducir, degradar e incluso eliminar la contaminación en aire, suelo y

agua. En el caso de las plantas, cuentan además con la envidiable posición de ser un recurso renovable y barato. El gradual agotamiento de los recursos naturales impulsa a los científicos a utilizar plantas y sus productos como alternativas a los procesos de ingeniería, mucho más costosos e intensivos energéticamente. De este modo la utilización de diferentes tecnologías de biorremediación, que pueden incluir o no OMG, se presenta como el complemento óptimo a los tradicionales procesos de tecnología medioambiental (García, 2002).

Implementación de políticas medioambientales relativas a organismos modificados genéticamente

El tema de los Organismos Modificados Genéticamente (OMG) en alimentos y otros productos son objeto en la actualidad de un candente debate sobre los alimentos transgénicos y las implicaciones o afectaciones del mismo sobre la población o las personas que consumen este tipo de alimentos. Debate que está afectando la aplicación de la biotecnología en otras áreas, como es el caso de la biorremediación para la prevención o minimización de diferentes impactos negativos sobre el medio ambiente (García, 2002).

Según García, al tratarse de una legislación abierta que debe ser aplicada de un modo específico para cada caso y a través de un mecanismo que incluye una serie de pasos sucesivos, deja un gran margen a la discreción en su implementación.

El proceso de implementación de las políticas regulatorias de los OMG está embebido en una gran controversia, implicando numerosas cuestiones científicas y valores en conflicto. El debate está contribuyendo en algunos casos a aumentar la oposición pública a la biotecnología, en ocasiones sin un entendimiento completo de las ventajas y oportunidades medioambientales que puede ofrecer. La modificación de la regulación europea en esta materia posibilita una mayor transparencia y una menor atención por parte de los medios para ayudar a controlar los riesgos y utilizar las posibilidades presentes en esta tecnología. El proceso de aprendizaje de la implementación de estas políticas, incorporando flexibilidad y elementos de discrecio-

nalidad permitirá tratar las dificultades y dilemas asociados con los OMG de un modo más efectivo en el futuro (García, 2002).

En Europa, por ejemplo, la mayoría de los países muestra un desarrollo emergente y se evidencia una alta tasa de publicaciones científicas sobre biotecnología, lo que genera en el campo de la biotecnología un factor fundamental para caracterizar la importancia de esta rama de investigación y aplicación industrial. Esto se debe a que desde finales de los años ochenta Europa se ha enfocado en políticas de tecnología y transferencia de tecnología académica. A partir del “Single European Act” en 1987, donde por primera vez se establecieron bases legales para programas de IyD desarrolladas por la Comisión Europea, como complemento de diversos fondos y programas nacionales, se dio inicio al fortalecimiento de lazos entre universidades y empresas, poniendo particular énfasis en la pronta obtención de resultados comerciales tangibles (Dornbergerl y Regúnaga, 2008).

Conclusiones

- Se hace necesaria una ampliación y especificación de políticas que permitan la aplicabilidad de la biotecnología en procesos que vislumbren eficacia y eficiencia en los tratamientos ambientales. Con el fin de generar no sólo tratamientos y tecnologías nuevas para la solución de las problemáticas ambientales, si no también, para que las investigaciones biotecnológicas se presenten como una oportunidad de empresa y fuente generadora de empleo como ocurre en gran parte de Europa (Dornbergerl y Regúnaga, 2008).
- Es necesario implementar políticas consensuadas a nivel regional en cuanto a ciencia, tecnología e innovación. Con el fin de potencializar la relación que existe entre la innovación biotecnológica y las políticas que afectan la investigación y la educación superior, las cuestiones como la promoción y la facilitación de las estrategias de gestión de los derechos de propiedad intelectual en las instituciones académicas, el desarrollo de alternativas de capital de riesgo y de arranque, el papel de la iniciativa empresarial, así como la conversión de las

empresas existentes en actores activos en los procesos de innovación en el campo de las biotecnologías (Dornbergerl y Regúnaga, 2008).

- Aprovechar al máximo su potencial y amplia gama con la que cuenta Colombia en relación a la materia prima para la aplicación de biotecnología, y que consecuentemente puede ser aprovechada como fuente de empleo y emprendimiento, con un debido acompañamiento de la industria, la academia y las políticas de investigación gestionadas desde las políticas internas desde el gobierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausr, S., Fernando, T., Brock, B., y Tuisel, H. A. (1998). *Biological Treatment*. New York.
- Belloso, C., y Carrario, J. (s.f.). Bacterias degradadoras de hidrocarburos aisladas de suelos contaminados. Recuperado el 15 de marzo de 2013.
- Biotech ALA/2005/017-350. Inventario de las Capacidades Biotecnológicas en la Unión Europea y la Comparación con los Países de la Mercosur.
- Bonneau, M. E. (1987). *Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo*. Barcelona: Masson.
- Dornbergerl, U. y Regúnaga, M. (2008). Apoyo al Desarrollo de las Biotecnologías en el Mercosur.
- Eweis, J. B., Ergas, S. J. y Chang, D. P. (1999). *Principios de la biorrecuperación*. New York: McGraw Hill.
- García, P. R. (2002). Organismos Modificados Genéticamente: Oportunidades Ambientales y Dificultades Políticas. *Ecosistema*, 11(1), 130-134.
- Gil, L., Martínez, V. y Dornberger, U. (2002). Caracterización de la industria biotecnológica chilena. Recuperado el 27 de febrero de 2013.
- López Lafuente, A. (1999). <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/view/598>. Recuperado el 7 de febrero de 2013, de <http://www.analesranf.com>
- López Lafuente, A. (s.f.). Real Academia Nacional de Farmacia. Recuperado el 17 de marzo de 2013, de www.analesranf.com/index.php/discurso/article/viewFile/797/762
- Maroto Arroyo, M. E. (2001). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. Recuperado el 27 de febrero de 2013.

- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2005).
 Dificultades Ambientales y Dificultades Políticas. Recuperado el 01 de febrero de 2013, de Universidad de Murcia, España: <http://www.um.es/gtiweb/adrico/medioambiente/organismos%20modificados.htm>.
- Otero, M. D. (2001). Nemátodos bacteriógrafos bioindicadores y como organismos asociados a los procesos de biorremediación. *Avances de energía renovables y medio ambiente*, 6.75-6.79.
- Paul, E. A. (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Londres: Press.
- Plaza, G., López, R. y Saca, E. (2004). Biorremediación de pasivos ambientales a escala de laboratorio. *Avances de energías Renovables y Medio Ambiente*, 8(1).
- Rey García, P. (s.f.). Organismos Modificados Genéticamente: Dificultades Ambientales y Dificultades Políticas. Recuperado el 01 de febrero de 2013, de Universidad de Murcia, España: <http://www.um.es/gtiweb/adrico/medioambiente/organismos%20modificados.htm>.
- Sinclair, J. L. (1989). Distribution of Aerobic Bacteria, Protozoa, Algae and Fungi in Deep Subsurface Sediment. *Geomicrobiology Journal*, 15-31.
- Wolfaardt, G. M., Lawrence, J. R., Headly, J. B. y Robarts, R. D. (1994). Microbial Exopolymers Provide a Mechanism for Bioaccumulation of Contaminants. *Microbial Ecology*, 279-291.

Manejo, transporte y disposición final de los residuos hospitalarios en los países de habla hispana entre los años de 1996 a 2012

*Handling, transport and final disposal
of medical waste in Spanish-speaking
countries between the years of 1996 to 2012*

Lady Mariana Rico Malagón

*Gerente en Salud Ocupacional, Fundación Universitaria del Área Andina, Inspectora de HSE,
Consejo Colombiano de Seguridad, Profesional en Instrumentación Quirúrgica,
Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá, Colombia. marianarico22@gmail.com*

Esmeralda Lucrecia Romero Layton

*Gerente en Salud Ocupacional, Fundación Universitaria del Área Andina,
Profesional en Instrumentación Quirúrgica, Fundación Universitaria
del Área Andina, Bogotá, Colombia. dies85@hotmail.com*

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo hacer una revisión de la gestión integral de los desechos hospitalarios en los países de España, Venezuela, Chile, Cuba, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica con base en la legislación que rige en cada uno de los países en el tema de manejo, transporte y disposición final de los residuos hospitalarios.

Para esto se realizó una revisión sistemática de referencias bibliográficas relacionadas con el tema de residuos hospitalarios, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: manejo, transporte y disposición final de los desechos generados en las instituciones prestadoras del servicio de salud, donde se encontró

que existen muchas falencias, como el manejo inadecuado de los residuos hospitalarios por poca o nula capacitación al personal encargado de esta labor, no contar con sitios exclusivos para la disposición final de los desechos y el no cumplimiento de las normas mínimas establecidas para la gestión integral de los desechos hospitalarios.

Los residuos hospitalarios se han convertido en un gran problema en los países de habla hispana, ya que a sabiendas de que son generadores y que por lo tanto hay normas a las que se deben sujetar no cumplen con un plan de manejo integral de residuos hospitalarios y menos con el control en el transporte y disposición final.

Palabras clave: disposición final, manejo de residuos hospitalarios, transporte de residuos.

ABSTRACT

This article aims to do a review of the management of hospital waste in the countries of Spain, Venezuela, Chile, Cuba, Mexico, Argentina, Colombia, Guatemala, Peru and Nicaragua to support legislation that governed in each of the countries in the area of handling, trans-

port and final disposal of hospital waste.

We performed a systematic review of references related to the topic of hospital waste, taking into account the following parameters: handling, transportation and final disposal of waste generated in institutions providing health service, we

found that there are many shortcomings, such as inadequate management of hospital waste little or no training for personnel responsible for this work, not having exclusive sites for the disposal of waste and non-compliance with the minimum standards set for the management of hospital waste.

Hospital waste has become a big problem in the Spanish-speaking countries, as knowing that are generators and therefore there are rules which must hold not comply with a plan of comprehensive waste management hospital and less control in the transport and disposal.

Key Words: final disposition, hospital waste management, waste transport.

Introducción

Se define como residuos hospitalarios al conjunto de residuos generados en hospitales, clínicas, consultorios y laboratorios clínicos y dentales como resultado de las distintas actividades que se desarrollan en ellos. Los residuos hospitalarios presentan riesgos y dificultades especiales en su manejo debido fundamentalmente al carácter infeccioso de algunas de sus componentes, a la heterogeneidad de su composición, a la presencia frecuente de objetos cortopunzantes y a la presencia eventual de cantidades menores de sustancias tóxicas y radiactivas de baja intensidad (Cabello y Sauma, 2007).

Los residuos hospitalarios son clasificados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (Cepis) en la guía “guía para el manejo interno de residuos sólidos en los centros de atención de salud”:

- **Residuos infecciosos:** son los residuos generados durante las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunizaciones, investigaciones, etc.) que contienen patógenos en cantidad o concentración suficiente para contaminar a la persona que se exponga a ellos. Estos residuos pueden ser, entre otros: materiales provenientes de salas de aislamiento de pacientes, materiales biológicos, sangre humana y productos derivados, residuos anatómicos patológicos y quirúrgicos, residuos punzocortantes, residuos de animales (Cantanhede, 1999), (Monge, 1997).

- **Residuos especiales:** son aquellos generados durante las actividades auxiliares de los centros de atención de salud que no hayan entrado en contacto con los pacientes ni con los agentes infecciosos. Constituyen un peligro para la salud por sus características agresivas, tales como: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o radiactividad. Estos residuos se generan principalmente en los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento; directos complementarios y generales. Pueden ser, entre otros: residuos químicos y peligrosos, residuos farmacéuticos y residuos radiactivos (Cantanhede, 1999), (Monge, 1997).
- **Residuos comunes:** son aquellos generados por las actividades administrativas, auxiliares y generales, que no corresponden a ninguna de las categorías anteriores, no representan peligro para la salud y sus características son similares a las que presentan los residuos domésticos comunes. Se incluye en esta categoría a los papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de la preparación de alimentos, y materiales de la limpieza de patios y jardines, entre otros (Cantanhede, 1999), (Monge, 1997).

Según la organización mundial de la salud los residuos hospitalarios se clasifican en: Residuos generales, residuos patológicos, residuos radiactivos, residuos químicos, residuos infecciosos, objetos punzocortantes, residuos farmacéuticos (Cantanhede, 1999), (Monge, 1997).

El total y los tipos de los desechos generados en las entidades de atención de salud varían según la función de los servicios proporcionados. La cantidad de residuos se encuentra en el rango de 2,6 a 3,8 kg- /cama/día. Un estudio llevado a cabo en México respalda un indicador de 3 kg- /cama/día. Se estima que de 10 a 40% de estos desechos pueden ser clasificados como peligrosos debido a su naturaleza patógena y el resto como residuos domésticos (Monge, 1997).

Con base en la legislación y guías de manejo que rige los países de habla hispana como España, Venezuela, Chile, Cuba, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica en el tema de manejo, transporte y disposición final de los residuos hospitalarios, el presente

artículo revisa la realidad de la problemática presente desde la década de los años 80 y especialmente tras la aparición del SIDA (Llorente Álvarez, Arcos González, y González Estrada, 1997), hasta el día de hoy, donde no se ha podido garantizar una implementación y control de los sistemas integrales de manejo de los residuos hospitalarios.

Con base en la información consultada, este artículo tiene como objetivo hacer una revisión de la gestión integral de los desechos hospitalarios en los países anteriormente mencionados, con base en sus políticas en el tema de manejo, transporte y disposición final de los residuos hospitalarios.

Método

Se realiza una revisión sistemática de referencias bibliográficas relacionadas con el tema de Residuos Hospitalarios, teniendo en cuenta los parámetros más relevantes: manejo, transporte y disposición final de desechos hospitalarios según las normas establecidas en algunos países de habla hispana seleccionados para este artículo.

Se comienza la búsqueda en internet, Google Académico, Scielo y Redalyc, son los portales en donde se encontraron las referencias a tratar, con las palabras claves y verificando que fuesen artículos científicos, investigativos o académicos y preferiblemente en formato pdf para cumplir con el objetivo y mantener fidelidad de las fuentes.

Se realiza una base de datos con aquellos artículos que contengan información sobre los temas relacionados, y se desarrollan dos matrices con los 30 artículos seleccionados, se tomaron artículos de periódicos, revistas informativas y revistas científicas, como parte del apoyo a las demás fuentes.

La primera matriz se hace con información general de cada artículo, donde se especifica número, autores, tipo de publicación, título, objetivos, tipo de estudio, recolección de la información, resultados y conclusiones.

La segunda matriz se hizo una separación por subtemas a enfatizar en esta revisión y estos son: Manejo, transporte interno, externo y disposición final de residuos hospitalarios, sacando las similitudes, diferencias y particularidades de cada uno de los artículos.

Una vez concluida las matrices, obteniendo la información depurada, se procede a la construcción del artículo a partir de las fuentes relacionadas, y teniendo en cuenta los temas a tratar.

Manejo de residuos hospitalarios

El manejo de los residuos sólidos hospitalarios, es un sistema de seguridad sanitaria, que comienza en un punto donde se genera, para continuar su manejo en las diferentes unidades del hospital, hasta que llega a su destino final fuera del establecimiento de salud, para iniciar con un tratamiento o disposición adecuada (Matos Chamorro y Tejada Del Valle, 2010). Se debe tener en cuenta que en el manejo de estos residuos se encuentra un grupo expuesto al riesgo por la manipulación de estos desechos en los hospitales entre ellos están los trabajadores de los establecimientos de salud, especialmente los enfermeros y el personal de limpieza, seguido de los trabajadores que manipulan los desechos fuera del hospital. El riesgo para las personas externas es secundario y ocurre de tres maneras: Por exposición accidental estando en contacto con los residuos en los basureros municipales; la exposición a contaminantes químicos y/o biológicos en el agua y la exposición a contaminantes químicos (Cantanhede, 1999). Los accidentes con material contaminado han sido asociados con el riesgo de padecer enfermedades de transmisión sanguínea, infecciones de la piel y tejidos blandos en trabajadores de salud (Leal Mateos, Solazar Solis, y Ruiz Castro, 2004).

En los países de habla hispana (España, Venezuela, Chile, Cuba, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica) existe una normatividad y manuales para el manejo de los residuos hospitalarios, cada uno adaptado al país correspondiente, pero todas tienen el mismo fin que es garantizar el buen manejo de los desechos por parte del personal que lo manipula y a las entidades de salud que generan estos residuos, evitando daños físicos serios e infecciones graves en el personal que labora en los centros de salud, a los pacientes y a la comunidad en general; pero la mayoría del personal desconoce los procedimientos y protocolos para el manejo de los residuos peligrosos de riesgo biológico y químico (Mata Subero, Pellegrini Blanco, y Reyes Gil, 2006), (Romano Benítez y Chávez Porrás, 2011).

Los desechos peligrosos hospitalarios requieren de un manejo especial para así evitar consecuencias en el personal que lo maneja evitando la transmisión de enfermedades. El mal manejo de los desechos peligrosos de los hospitales puede crear situaciones de riesgo que amenacen la salud de la población hospitalaria (personal y pacientes), y también puede ser causa de situaciones de daño ambiental que estén más allá de los límites del hospital, pueden generar molestias y pérdida de bienestar a la población y poner en riesgo la salud de aquellos sectores de la comunidad que, directa o indirectamente, se encuentran expuestos al contacto con material infeccioso o contaminado, cuando los desechos son trasladados fuera del hospital para su tratamiento o disposición final y hace falta un organismo de control y vigilancia para las instituciones que no tengan el adecuado manejo de sus desechos (Junco Díaz y Rodríguez Sordía, 2000), (Castillo Lenis, 2008).

Una de las etapas del manejo de los residuos hospitalarios es la separación de los desechos de acuerdo con su clasificación, en la Ciudad de Guatemala en la mayoría de los servicios de las entidades de salud realizan la separación con cierta eficiencia de la siguiente manera: lo cortopunzante se desecha en recipientes plásticos algunos adecuados y otros en reuso de embalaje; los médicos infecciosos se desechan en bolsa roja y los comunes en bolsas negras (Carranza González, 2002).

En la Habana (Cuba), se considera la separación de los desechos como un paso fundamental del manejo de los residuos, no obstante el personal de las entidades de salud no los separan de acuerdo a su clasificación (Molerio, y otros, 2008); en las entidades de salud del Valle del Cauca (Colombia) los pacientes y los visitantes no conocen la forma adecuada para desechos en los recipientes o bolsas establecidas para los residuos, ellos mezclan los residuos hospitalarios no peligrosos con los residuos hospitalarios peligrosos (Marmolejo, Madera, y Torres, 2010).

La clasificación de los residuos hospitalarios es deficiente, varios factores son los implicados en este problema, como la no disponibilidad en las unidades o servicios hospitalarios de envases adecuados para cada tipo de residuo, el personal utiliza las bolsas y contenedores que se encuentran en las áreas, aunque no sea el indicado, en muchas ocasiones el personal que maneja estos desechos no tienen una sensibilización y un entrenamiento adecuado

para el manejo de estos desechos, tal y como sucede en la ciudad de Asturias (España) (Llorente Álvarez, Arcos González, y González Estrada, 1997).

En la ciudad de Bogotá (Colombia), las instituciones de salud cuentan con canecas de colores con bolsas del mismo color de estas, se depositan los residuos sólidos según su clasificación en donde la caneca gris se desecha los residuos no peligrosos reciclables como plástico, cartón y vidrio no contaminado, caneca verde donde se ubican los residuos no peligrosos ordinarios no reciclables, y en la caneca roja se depositan los residuos peligrosos de riesgo biológico como guantes, tapabocas, copitos, bajalenguas, jeringas y algodones. Además existen contenedores para elementos cortopunzantes, uno para vidrio contaminado (ampollas, frascos de medicamentos) y otro para agujas (Ramírez Espitia y Márquez Hernández, 2012). Sin embargo, no en todas las instituciones de salud de los países de habla hispana cuentan con este manejo, como sucede en una entidad de salud del Lima (Perú) ellos no separan los materiales peligrosos de los comunes y no se cumple con el código de colores (Cifuentes y Iglesias, 2008).

La gestión de los residuos líquidos hospitalarios no es la adecuada, estos son desechados por el alcantarillado; las unidades de salud no realizan ningún tipo de desactivación a las aguas residuales que son vertidas y terminan en el alcantarillado municipal, alterando la calidad del agua, debido a que se descargan los residuos con alto contenido de materia orgánica, patógena, elementos químicos, desinfectantes, entre otros, generando un riesgo importante para la salud de las personas que tengan algún contacto con ellos (Yáñez Conde, Gómez Hernández, y Jiménez Porras, 2005), (Samboní Rubio y Espinosa E, 2009).

El manejo de los residuos hospitalarios en los países de habla hispana como España, Venezuela, Chile, Cuba, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica no cumplen con los parámetros establecidos, ya que el personal que manipula estos desechos no tienen el conocimiento suficiente o no ponen en práctica lo fundamentado en los manuales o protocolos relacionados con la materia de residuos hospitalarios en cada una de las instituciones de salud, generando altos riesgos de bioseguridad, salud ocupacional, gestión ambiental, que derivado de ello conllevan a accidentes de variadas dimensiones pero impactantes a nivel humano y del ambiente físico.

Transporte interno y externo de los residuos hospitalarios

En la gestión integral de los residuos hospitalarios se conoce como transporte interno a la recolección y traslado de los desechos hospitalarios desde su punto de origen hasta las áreas de almacenamiento temporal de la entidad de salud. El personal encargado de la manipulación de los desechos deberá utilizar ropa e implementos de protección personal, para evitar lesiones en la piel, y tener un entrenamiento adecuado para el manejo del traslado de los desechos hospitalarios. Los carros para el transporte interno deben ser de tracción manual, diseñados para asegurar rapidez y silencio en el momento de recoger los desechos en cada uno de los servicios, hermeticidad, impermeabilidad y estabilidad para evitar accidentes, con una etiqueta en la cual se identifique la clase de residuos que lleva y se le debe hacer una limpieza y desinfección después de cada uso, también se debe tener en cuenta que en se deben manejar horarios para la recolección de los desechos y pasar los vehículos por zonas donde el flujo de visitas sea el mínimo (Mata Subero, Pellegrini Blanco, y Reyes Gil, 2006), (Cantanhede, 1999), (Junco Díaz y Rodríguez Sordía, 2000), (Matos Chamorro y Tejada Del Valle, 2010).

En ciudades como Caracas (Venezuela), la Habana (Cuba), Managua (Nicaragua), el transporte interno tiene muchas falencias, entre las que se encuentra el trasladar los desechos hospitalarios en los ascensores o escaleras de servicio público, colocar las bolsas de los residuos en el piso cuando no son trasladados en recipientes, no se le realiza una desinfección adecuada a los recipientes, los desechos peligrosos son mezclados con los comunes, no obstante se debería realizar una recolecta por lo menos una vez por cada turno de trabajo, pero no se cumple con este requisito (Mata Subero, Reyes Gil, y Mijares Seminario, 2004), (Molerio, y otros, 2008), (Blandón Rivera y Castellanos Corrales, 2000).

En algunas entidades de salud de la Ciudad de Guatemala y México el transporte interno está a cargo del personal de intendencia, se realiza en carretillas o en carros motorizados no adecuadas y sobrecargados que son trasladadas por el paso peatonal del estas instituciones y es frecuente el derrame de los residuos durante el transporte, generando molestias a los pacientes, visitantes y personal en general (Carranza González, 2002), (Sánchez Gómez, 1999).

El traslado de los desechos hospitalarios desde la entidad de salud hasta el lugar de tratamiento y eliminación final se conoce como transporte externo; así mismo estos desechos nunca deberán ser transferidos de vehículo a vehículo. Para la recolección y traslado externo se debe tener en cuenta que los vehículos estén revestidos internamente con acero inoxidable o aluminio para proporcionar una superficie lisa e impermeable, para evitar derrames en las calles, las esquinas y ángulos deben cubrirse para prevenir que se acumule residuos, se debe tener una puerta con llave y un sistema de ventilación, después de concluir con el traslado se debe hacer una limpieza y desinfección, no se debe mezclar los desechos hospitalarios con los desechos municipales. El vehículo debe contar con una señal pintada en la parte delantera y trasera con el tipo de residuo que se transporta, con letras de por lo menos 80 mm de altura (Monge, 1997).

Existen entidades encargadas del transporte externos de los desechos, aunque son entidades que también transportan desechos domiciliarios, cuentan con vehículos especiales para los desechos hospitalarios y se recogen de manera separada, en la Habana (Cuba), se cuenta con una empresa transportadora de desechos hospitalarios encargada de recoger los residuos de los hospitales para ser llevados a su destino final. En la ciudad de Bogotá (Colombia), las empresas encargadas de la recolección de los residuos sólidos hospitalarios y químicos son recogidos por empresas privadas de transporte dependiendo el tipo de desecho, en Medellín (Colombia) la encargada de recoger los residuos sólidos ordinarios, inertes y biológicos y los anatomopatológicos y cortopunzantes es una empresa pública que no cuenta con vehículos que cumplan con los requisitos establecidos (Molerio y otros, 2008)(Ramírez Espitia y Márquez Hernández, 2012), (Ramírez, Agudelo, y Jaramillo, 2002).

En Río Cuarto (Argentina), la recolección de los desechos hospitalarios se realiza diariamente, atendiendo a un número de centros que varía con el transcurso de los días de la semana de acuerdo a las diferentes frecuencias de visitas que requieren cada uno de ellos. En la actualidad la planificación del recorrido se realiza sobre una base empírica y que a través del tiempo se ha ido ajustando para tener en cuenta las variaciones del sistema (Simón, Demaldé, Hernández, y Carnero, 2012).

En el Hospital universitario Ruiz y Páez en el estado de Bolívar (Venezuela), no se cuenta con un medio de transporte externo propio, la municipalidad debe valerse del contrato de unidades vehiculares que no cumplen con las normas de bioseguridad básicas (Rodríguez, Mago, y Mora, 2010).

El transporte interno y externo de los desechos hospitalarios desempeña un papel importante en la gestión integral de los residuos hospitalarios, sin embargo las instituciones de salud no disponen de los vehículos requeridos para este fin, produciendo daños al medio ambiente y a las personas que de alguna manera están en contacto con estos residuos, ya sea dentro de las instituciones de salud o fuera de ellas. Por estas razones es importante que toda institución y empresas transportadoras cuente con un sistema integrado de calidad dando cumplimiento a las normas, de lo contrario estos deberán ser sancionados por los entes de control externos y así tener unos datos específicos de las situación en la que se encuentran todas las entidades involucradas en el tema.

Disposición final de los residuos hospitalarios

Uno de los principales problemas para las instituciones prestadoras de salud es el tratamiento y disposición final de los residuos generados por cada una de las áreas que la componen, es por este motivo que es importante tratar este tema y mostrar las diferentes falencias presentes en los países de España, Venezuela, Chile, Cuba, Madrid, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica.

En las capitales de Centro América los desechos son recolectados con algún grado de precaución únicamente en el manejo interno de las instituciones de salud, ignorando los efectos negativos que éstos pudieran tener en la comunidad que recibe el destino final. En raras excepciones, los residuos peligrosos son separada de la basura común y en la mayoría de los casos entregada a la empresa de recolección municipal sin ninguna precaución, contaminando así al resto de la basura producida en la ciudad, aumentando las condiciones de riesgo para las personas que se dedican a la recuperación en los botaderos o rellenos municipales. La práctica de manejar los desechos sólidos hospitalarios como simple basura común, conlleva a consecuencias impredecibles y de alto riesgo en la transmisión de enfermedades

infectocontagiosas, así como accidentes con objetos cortopunzantes, sustancias tóxicas, inflamables y radiactivas, no sólo para el personal involucrado directamente en el manejo, sino también para la población externa (Umaña Granados, 1996), (Ramírez, Agudelo, y Jaramillo, 2002).

En un hospital de IV nivel de la ciudad de Caracas (Venezuela) los residuos anatomopatológicos son llevados a la cava de la morgue de su propia institución, hasta que llegue la entidad de recolección externa; estos elementos contaminados no son dispuestos en recipientes o bolsas del color y características adecuadas para este fin. Es clara la problemática del almacenamiento final: en algunos casos el personal encargado es el obrero de la institución médica, el cual no tiene ninguna capacitación para el manejo de estos desechos generando sitios de almacenamiento final inapropiados, carencia de sitios de almacenamiento final para desechos infecciosos y especiales y mezcla de desechos. Causando impactos importante como contaminación atmosférica, suelo y agua; contaminación del personal obrero; contaminación del personal externo al hospital (Mata Subero, Reyes Gil y Mijares Seminario, 2004).

La ciudad de Santiago de Chile (Chile) cuenta con un centro de alta complejidad en las áreas de farmacia y anatomía-patología de hospitalización de mujeres, generan unos riesgos ambientales importantes al ser todas estas áreas de almacenamiento improvisadas, sin señalización y de fácil acceso para personal ajeno a la institución (Neveu y Matus, 2007).

Según los desechos peligrosos, actualmente, segregados por este centro se encuentran residuos farmacéuticos (material contaminado de preparación y administración de drogas, medicamentos caducados), cortopunzantes, patológicos (material orgánico) y químicos (fijador-revelador). El resto de los residuos tipo peligrosos sólidos son descartados conjuntamente con los residuos tipo ordinarios – comunes, por lo que siguen su proceso (Neveu y Matus, 2007).

En cuanto a los residuos tipo peligrosos - líquidos son descartados por el alcantarillado y los residuos tipo peligrosos - gaseosos son descartados directamente a la atmósfera, lo que genera un riesgo de contaminación al ambiente y a la salud de las personas (Neveu y Matus, 2007).

Los residuos farmacéuticos y patológicos segregados son controlados al momento de la separación mediante documentación exigida a la empresa

recolectora; en el resto del proceso pueden presentar fugas o pérdidas que conllevarían riesgos de contaminación ambiental y riesgo para la salud de las personas (Neveu y Matus, 2007).

Mientras que los residuos químicos - peligrosos sólo son controlados en la segregación, el resto del proceso presentaría fugas y se desconoce si la empresa recolectora cuenta con los permisos para su tratamiento, lo que implicaría riesgos potenciales de contaminación ambiental y a la salud de las personas (Neveu y Matus, 2007).

Por otro lado los desechos cortopunzantes son recolectados conjuntamente con los residuos tipo II incorporándose en su proceso. En general, durante todo el proceso se pueden generar pérdidas, ya sea por segregación deficiente, almacenamiento incorrecto, recolección insegura o condiciones deficientes de almacenamiento final, las cuales pueden generar riesgos a la salud de las personas y al medio ambiente (Neveu y Matus, 2007).

Los desechos hospitalarios en los centros de este estudio de Cuba son destinados al vertedero municipal en camiones que también son usados para el traslado de desechos comunes. Las cenizas y los residuos generados por el proceso de incineración son dispuestos de igual forma. Los transportadores de basuras que arriben al vertedero pueden contraer enfermedades al entrar en contacto con estos desechos tóxicos. Por otro lado las condiciones actuales del vertedero municipal por el volumen considerable de desechos de este tipo que son destinados allí junto con los desechos comunes generando una gran posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas (Molerio y otros, 2008).

La Universidad del Cauca (Colombia), cuenta con la Unidad de Salud donde no se está realizando desactivación de los residuos infecciosos que son entregados a la Ruta Hospitalaria de la alcaldía de Popayán conforme al Decreto 1669 de 2002, por lo que es importante la adquisición de un equipo para realizar este proceso o el contrato con el prestador Especial de Aseo para dar cumplimiento a las consideraciones de ley vigentes (Samboní Rubio y Espinosa E., 2009).

Mientras que en el Hospital General de Medellín (Colombia) tiene un manejo más orientado al cumplimiento de las normas para el tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios, haciendo tratamiento de desactivación a los residuos biológicos de las áreas de lavandería, quirófanos

y los servicios de alimentación. A los residuos anatomopatológicos y cortopunzantes los manda a proceso de incineración por medio de una empresa particular experta en el tema. Los residuos biodegradables son comercializados (Ramírez, Agudelo, y Jaramillo, 2002). En la ciudad de Barranquilla fueron hallados los desechos hospitalarios, en sitios no autorizados para esta actividad, es decir, un lote en el barrio Las Malvinas, otra en la ‘oreja’ de la Circunvalar, y otro en el barrio El Pueblo (Franco Altamar, 2008).

En la ciudad de México, los residuos infecciosos son quemados en un hoyo dentro del área del hospital. El incinerador es de una cámara con quemadores de diesel, los gases se conducen por una chimenea de 4 m de altura (no tiene tratamiento de gases) con sombrero tipo chino, activada con ventilador inducido (en este momento no cuenta con el incinerador ya que se quemó en una mala manipulación). Las cenizas de los incineradores y los residuos comunes son llevadas por el camión de residuos sólidos municipales al botadero de la zona. Y los biológicos son llevados a un área del cementerio La Verbena, para ser enterrados (Carranza González, 2002).

Con frecuencia en ciudades como, Lima (Perú) y Pereira en Colombia, los residuos hospitalarios se arrojan a los vaciaderos o rellenos sanitarios junto con los residuos municipales, con excepción de las partes corporales humanas que se entierran por separado por razones culturales. Los riesgos de infección fuera de los hospitales para el personal que maneja los residuos sólidos, los que recuperan materiales de la basura y, en definitiva, el público en general. El lugar de almacenamiento deberá ser seguro y contar con instalaciones que permitan su limpieza en caso de derrames de desechos. Se debe colocar el símbolo universal de residuo biológico en la puerta del área de almacenamiento, en los contenedores de residuos, en congeladores o refrigeradoras usadas para tal fin. Los desechos comunes pueden ser llevados directamente a un recipiente exterior que podrá ser recogido por el servicio municipal (Cifuentes y Iglesias, 2008).

Antes de realizar la disposición final de los residuos hospitalarios es necesario someterlo a ciertos tratamientos; entre las tecnologías disponibles para el tratamiento de residuos biocontaminados se encuentran las siguientes: la incineración, el autoclave, el tratamiento por microondas y la desinfección química. Sin embargo, un inadecuado diseño u operación inapropiada de los sistemas de tratamiento pueden generar problemas de

contaminación ambiental, por lo que es importante prevenir esta posibilidad mediante la selección correcta de la alternativa a utilizar y la capacitación del personal a cargo de su operación. El tratamiento de los residuos hospitalarios se efectúa por diversas razones: Eliminar su potencial infeccioso o peligroso previo a su disposición final, reducir su volumen, volver irreconocibles los desechos de la cirugía (partes corporales), impedir la inadecuada reutilización de artículos reciclables (Corpas Iguarán y Sánchez Calderón, 2009).

- **Incineración:** los residuos son quemados bajo condiciones controladas para oxidar el carbón y el hidrógeno presente en los mismos; Esterilización a vapor–autoclave: los residuos son expuestos a altas temperaturas mediante la inyección de vapor y alta presión, lo que permite destruir los patógenos; Desinfección química: los procesos incluyen el contacto de los residuos hospitalarios con desinfectantes químicos. Los materiales entran a un baño donde son mezclados con el desinfectante; Microondas: Los residuos son triturados y se les inyecta vapor para asegurar la absorción uniforme del calor durante el tratamiento, en este estado son impulsados a través de una cámara donde son expuestos a las microondas (Corpas Iguarán y Sánchez Calderón, 2009).
- **Otros procesos de tratamiento:** otros desechos peligrosos pueden eliminarse del siguiente modo: los fármacos citotóxicos deben ser quemados o degradados químicamente por especialistas calificados. Nunca deberán diluirse o verterse al alcantarillado, los materiales radiactivos pueden devolverse a la industria nuclear que los suministró. La mayoría de los desechos radiactivos de los establecimientos médicos tienen un nivel bajo de radiactividad y una vida media corta, por lo que pueden ser almacenados en condiciones controladas hasta que puedan ser tratados como otros desechos. Debe solicitarse asesoramiento de expertos, los envases presurizados deben enterrarse o devolverse al fabricante pero nunca quemarse o procesarse mecánicamente. En la selección de una alternativa de tratamiento es necesario realizar un análisis comparativo de los parámetros más

relevantes de cada proceso considerando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, buscando aquel que más se adecúe a las necesidades particulares de cada centro de atención de salud (Corpas Iguarán y Sánchez Calderón, 2009).

- **Relleno de seguridad:** los riesgos relacionados con el relleno de residuos infecciosos son la contaminación de aguas subterráneas, contaminación del suelo e infección directa del personal u ocasionales segregadores de basura. Por estas razones, el relleno de seguridad sólo puede practicarse si se cumplen con las siguientes condiciones: Los segregadores de basura no deben ingresar al relleno, el acuífero no confinado debe estar protegido por una capa de arcilla, a una profundidad que no puede ser alcanzada por microorganismos a través de la infiltración natural (Cantanhede, 1999), (Monge, 1997).

La práctica estándar del relleno sanitario también deberá aplicarse al relleno de seguridad. Las ventajas de este método son su relativo bajo costo y seguridad si se restringe el acceso y se selecciona el sitio de forma adecuada. Las desventajas son que la limitación de acceso no puede ser garantizada en todo momento y que puede ser difícil evaluar las condiciones para rellenos seguros (Monge, 1997).

- **Encapsulado:** es la opción más económica de disponer los objetos punzocortantes. Cuando se llenan tres cuartos del envase utilizado, se vierten sustancias, tales como: cemento líquido, arena bituminosa o espuma plástica, hasta llenar el envase. Cuando la sustancia se seca, el envase puede ser dispuesto en un relleno o dentro de las instalaciones del hospital. Este método es simple, seguro, de bajo costo y también puede aplicarse a productos farmacéuticos. Sin embargo, no es recomendable para residuos infecciosos no cortantes (Cantanhede, 1999).
- **Relleno de emergencia:** también puede ser empleado como un método provisional o a corto plazo, por ejemplo en hospitales de campaña. Se cava una zanja de un metro de ancho, dos metros de largo y 1,5 metros de profundidad, de preferencia en un suelo impermeable no rocoso. El fondo de la zanja debe ser 1,5 metros más alto que el nivel

del acuífero no confinado. Los residuos se colocan en la zanja hasta alcanzar un metro y luego se llena con tierra. El proceso es apropiado para objetos punzocortantes, residuos infecciosos y eventualmente, residuos químicos y farmacéuticos. Presenta la desventaja de poseer riesgos de contaminación y que puede resultar difícil prevenir la segregación en todo momento (Monge, 1997).

La disposición final de los residuos hospitalarios es un factor crítico presente en los países de habla hispana, esto se debe a que las instituciones dan por terminada la responsabilidad de sus residuos cuando son entregados a las empresas transportadoras sin verificar si estos desechos son realmente tratados y llevados a una disposición final que cumpla con los requerimientos establecidos por la normatividad.

Discusión

Los residuos peligrosos son los de mayor importancia en las entidades de salud, porque se generan en gran volumen y, comparado con el de los residuos radiactivos y químicos, su tratamiento es el más costoso. La eliminación de los desechos peligrosos es un problema de salud pública difícil de resolver en la mayor parte de los países, como sucede en, España, Colombia, Venezuela, Chile, Cuba, México, Nicaragua, Guatemala, Perú, Argentina y Costa Rica (Muñoz Hernández, 2010).

En la gestión integral de los residuos hospitalarios en los países de habla hispana se observa falencias en el manejo de los desechos por los funcionarios internos y externos que manipulan sin tener información adecuada ni contar con los elementos de protección personal requeridos, ocasionando el contagio de enfermedades virales e infecciosas.

En el manejo de desechos puede verse expuesto a riesgos, aunque este sea más evidente en un sistema de manejo menos óptimo. La exposición puede resultar por accidentes, negligencia, entrenamiento inadecuado; así como por el uso inapropiado de procedimientos, contenedores no adecuados y equipos de tratamiento y manipulación no satisfactorios. Es fundamental que exista un programa de respuesta al incidente, el cual debe abarcar la atención a la persona, cuidado médico, vigilancia médica, reporte de la

exposición y evaluación del incidente (Junco Díaz, Martínez Hernández, y Luna Martínez, 2003).

No existe una vigilancia que permita garantizar un control de los desechos peligrosos, son recolectados con algún grado de precaución únicamente en el manejo interno de los establecimientos, no obstante se ignora los efectos negativos que éstos puedan tener en la comunidad que recibe el destino final. Muy pocas veces, la basura contaminada es separada de la basura común y en la mayoría de los casos entregada al sistema de recolección municipal sin ninguna precaución específica, mezclándose con el resto de los desechos domiciliarios, aumentando las condiciones de riesgo para las personas que se dedican al reciclaje en los botaderos o rellenos municipales (Umaña Granados, 1996).

Las instituciones prestadoras de salud, generadoras de residuos hospitalarios, son las encargadas de contratar empresas transportadoras que cumplan con la normatividad de recoger, transportar, hacer la disposición final y el tratamiento de estos desechos. Sin embargo, se vinculan con particulares que no están autorizados para el traslado de estos elementos peligrosos, porque no cumplen con los requisitos correspondientes; en las normas que existen para el transporte público no se habla del manejo que debe tener el traslado de residuos hospitalarios, pues en esta normatividad dice que se puede transportar cualquier tipo de mercancías, sin tener en cuenta los elementos nocivos que varias veces se movilizan de un lado a otro provenientes de hospitales y clínicas. Así mismo, este no especifica cómo debe ser la disposición final de ningún material (*El Espectador*, 2012).

Conclusiones

El manejo de los residuos hospitalarios en los países de habla hispana (España, Venezuela, Chile, Cuba, Madrid, México, Argentina, Colombia, Guatemala, Perú, Nicaragua y Costa Rica) son deficientes, el personal encargado de la manipulación de estos residuos no cuentan con la capacitación o el conocimiento necesario para estos, ocasionando un riesgo para ellos, los pacientes y los visitantes.

El transporte interno y externo de los residuos hospitalarios tiene fallencias significativas, debido a que no se tiene los vehículos especializados

para este fin, generando daños al medio ambiente y a la salud de las personas que entran en contacto con los desechos.

El diagnóstico de la situación que se presenta en cuanto a las condiciones de tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios se puede decir que refleja o evidencia grandes falencias, ya que puede existir alto grado de desconocimiento de la normatividad por parte del personal de salud como de las empresas externas que les presta servicios especiales de incineración y disposición final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blandón Rivera, K. J. y Castellanos Corrales, Z. D. (2000). Gestión del manejo integral de los desechos sólidos en el Hospital Alemán Nicaragüense de Managua. Centro de investigación y estudio del medio ambiente. Recuperado de <http://www.ciema.uni.edu.ni/archivos/articulos/zccykbr.pdf>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Cabello, R. y Sauma, E. (2007). Un modelo de generación de residuos hospitalarios para la región metropolitana de Chile. *Revista de la Ingeniería Ambiental*. Vol. 1, No. 1., 1-2. Recuperado de <http://academiajournals.com/downloads/CabelloSauma.pdf>. Consultado el 28 de noviembre del 2012.
- Cantanhede, Á. (1999). La gestión y tratamiento de los residuos generados en un centro de salud. *Repertorio científico*, 13. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/centros/centros.pdf>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Carranza González, J. D. (2002). Evaluación y recomendaciones del manejo de residuos hospitalarios en un centro asistencial de salud del área sur de la Ciudad de Guatemala. XXVIII congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 1-8. Cancún. Recuperado de <http://www.docstoc.com/docs/49770156/EVALUACION-DEL-MANEJO-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-EN-UN-HOSPITAL>. Consultado el 25 de noviembre del 2012.
- Castillo Lenis, P. (8 de agosto de 2008). Posible incremento de SIDA y hepatitis por residuos hospitalarios. *El Espectador*. Recuperado de <http://m.elespectador.com/noticias/salud/articulo-posible-incremento-de-sida-y-hepatitis-residuos-hospitalarios>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Cifuentes, C. e Iglesias, S. (2008). Gestión ambiental de residuos sólidos hospitalarios del Hospital Cayetano de Heredia. *Revista del instituto*

- de investigaciones FIGMMG, 21-26. Recuperado de <http://revistas.concytec.gob.pe/pdf/iigeo/v12n23/a03v12n23.pdf>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Corpas Iguarán, E. D., y Sánchez Calderón, A. L. (2009). Validación del proceso de autoclavado de residuos hospitalarios contaminados en el laboratorio con pseudomonas aeruginosas y bacillus stearothermophilus. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistamedica/article/view/739/369>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- El Espectador*. (23 de septiembre de 2012). Noticias *El Espectador.com*. Obtenido de *El Espectador.com*: <http://m.elespectador.com/noticias/salud/articulo-mintransporte-dice-no-le-competen-tema-de-desechos-hospitalarios>. Consultado el 25 de noviembre del 2012.
- Franco Altamar, J. (30 de octubre de 2008). Noticias *El Tiempo.com*. Recuperado de *El Tiempo.com*: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4634926>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Junco Díaz, R. d., y Rodríguez Sordía, D. (2000). Desechos hospitalarios: aspectos metodológicos de su manejo. Revista Cubana de higiene y epidemiología, 122-126. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=223214833006>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Junco Díaz, R. D., Martínez Hernández, G., y Luna Martínez, M. V. (2003). Seguridad ocupacional en el manejo de desechos peligrosos en instituciones de salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Recuperado de http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol41_01_03/hie07103.htm. Consultado el 27 de noviembre del 2012.
- Leal Mateos, M., Solazar Solis, R., y Ruiz Castro, J. (2004). Manejo de desechos peligrosos en los establecimientos de salud del área Alajuela Oeste. Revista Costarricense de salud pública. Vol. 13, No. 24, 2. Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14292004000100007yscript=sci_arttext. Consultado el 25 de noviembre del 2012.
- Llorente Álvarez, S., Arcos González, P., y González Estrada, R. (1997). Evaluación de la gestión hospitalaria de residuos sanitarios en el principado de Asturias. Revista especializada salud publica No.2 , 189-199. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v71n2/residuos.pdf>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Marmolejo, L. F., Madera, C. A. y Torres, P. (2010). Gestión de los residuos sólidos en hospitales locales del norte del Valle del Cauca, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública. Recuperado de http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X201000100008&lng=es&synrm=. Consultado el 27 de noviembre del 2012.

- Mata Subero, A. M., Pellegrini Blanco, N. y Reyes Gil, R. E. (2006). Programa de educación ambiental para la gestión de los desechos hospitalarios. Universidad, ciencia y tecnología, 286-300. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v10n41-Especial/art06.pdf>. Consultado el 1 de diciembre del 2012.
- Mata Subero, A. M., Reyes Gil, R., y Mijares Seminario, R. (2004). Manejo de desechos hospitalarios en un hospital tipo IV de Caracas, Venezuela. Inter ciencia, 91. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33908906.pdf>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Matos Chamorro, A. y Tejada Del Valle, D. (2010). Manejo de residuos hospitalarios. III encuentro de Investigación, 1. Lima. Recuperado de <http://papiros.upeu.edu.pe/bitstream/handle/123456789/292/DGI18Baner.pdf?sequence=>. Consultado el 4 de diciembre del 2012.
- Molerio, L., Hernández, Toujague, Guerra, O., Leal y Cisneros. (2008). Manejo y disposición final de desechos hospitalarios. Evaluación de cuatro casos de estudio. Asociación latinoamericana de hidrología subterránea para el desarrollo, 1-10. Recuperado de <http://www.alhsud.com/public/articulos/Hospitales-1.pdf>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Monge, G. (1997). Manejo de residuos en Centros de Atención de Salud. Hojas de divulgación técnica, CEPIS 1-2. Recuperado de http://www.posgradofadu.com.ar/archivos/biblio_doc/3.Manejo_de_residuos_en_centros_de_atencion_de_salud.pdf. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Muñoz Hernández, R. (2010). Los campos organizacionales de los residuos biológicos en los hospitales públicos. Iztapalapa revista de ciencias sociales y humanidades, 155-180. Recuperado de <http://148.206.53.230/revistasuam/iztapalapa/include/getdoc.php?id=1577yarticle=1619ymode=pdf>. Consultado el 4 de diciembre del 2012.
- Neveu, A., y Matus, P. (2007). Residuos hospitalarios en un centro de alta complejidad. Revista médica Chilena, 887-892. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/rmc/v135n7/art09.pdf>. Consultado en 27 de noviembre del 2012.
- Ramírez Espitia, E. J. y Márquez Hernández, A. E. (2012). Propuesta para el plan de manejo de residuos sólidos ordinarios y hospitalarios de la Procuraduría General de la Nación, sedes A y B de Bogotá. Recuperado de http://www.umng.edu.co/documents/10162/745280/V3N1_5.pdf. Consultado el 25 de noviembre del 2012.
- Ramírez, J., Agudelo, R. M., y Jaramillo, L. C. (2002). Productos y manejo de los residuos sólidos en el hospital General de Medellín, Colombia 2000. Revista Facultad Nacional de Salud Pública. Vol 20, No. 1, 23-

37. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=12020103>. Consultado el 4 de diciembre del 2012.
- Rodríguez, G., Mago, N. y Mora, Z. (2010). Políticas socio-sanitarias en el manejo de desechos sólidos hospitalarios en Venezuela. Caso: Complejo Hospitalario Universitario "Ruiz y Páez", Ciudad Bolívar, estado Bolívar. Revista de investigación. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3704879.pdf>. Consultado el 1 diciembre del 2012.
- Romano Benítez, R. A. y Chávez Porras, Á. (2011). Herramientas para la gestión de residuos sólidos peligrosos de riesgo biológico en los laboratorios de la UMNG. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de http://www.umng.edu.co/documents/10162/745279/V2N2_1.pdf. Consultado el 5 diciembre del 2012.
- Samboní Rubio, J. A., y Espinosa E, P. M. (2009). Formulación del plan de gestión integral de los residuos hospitalarios y similares para la unidad de salud - Universidad del Cauca. Revista Ingeniería Hoy, 89-103. Recuperado de <http://ublogs.unicauca.edu.co/ingenieriahoy/files/2011/09/ing-hoy-312222.pdf>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Sánchez Gómez, J. (1999). Situación actual, perspectiva y consideraciones para el control de los residuos hospitalarios en México. Seminario internacional gestión integral residuos sólidos peligrosos siglo XXI. Recuperado de http://www.resol.com.br/textos/control_hospitalares.pdf. Consultado el 4 de diciembre del 2012.
- Simón, S., Demaldé, J., Hernández, J. y Carnero, M. (2012). Optimización de Recorridos para la Recolección de Residuos infecciosos. Información Tecnológica. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v23n4/art14.pdf>. Consultado el 29 de noviembre del 2012.
- Umaña Granados, J. G. (1996). Gestión de los desechos sólidos hospitalarios en las capitales de Centroamérica. Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 1-8. México. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/03093e10.pdf. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Yáñez Conde, E., Gómez Hernández, L. A., y Jiménez Porras, O. (2005). Análisis de la gestión de los residuos sanitarios de titularidad privada en el municipio de Alcobendas. Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente, 1-23. Recuperado de http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD05_002.pdf. Consultado el 1 de diciembre del 2012.



Gerencia de instituciones de salud y Gestión ambiental

Volumen 1

EDITORES

Martha Lucía Torres Olaya
Jorge Arley Ramírez Cárdenas
Jairo Emilio Mejía Argüello

AUTORES

Juan Carlos Angarita Santos
Patricia Barazeta Ávila
Javier Díaz Casagua
Nelson Alonso Flórez
Henry Infante
Gladys Martínez Urrego
Nancy Montealegre Castillo
Mauricio Orjuela Manrique
Sandra Patricia Ovalle Hernández
Sonia Mabel Pachón Robayo
Orlando Pinzón Quintero
Lady Mariana Rico Malagón
Susan Carolina Robles Vargas
Claudia Romero Buitrago
Esmeralda Lucrecia Romero Layton
Sandra Patricia Veloza Herrera
Guiomar Villareal Torres