



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

## **Editorial**

### **¿Cuántas personas leen QuímicaViva?**

Mientras los *webmasters* compaginan el último número de *QuímicaViva* en su noveno año de aparición ininterrumpida, se me ocurre revisar las estadísticas del sitio. Son muchos los parámetros que nos ofrece *awstats* y resulta muy difícil elegir el número que represente la repercusión real de nuestra publicación. Tuve que elegir entre los valores correspondientes a visitantes distintos, número de visitas, número de páginas, solicitudes o tráfico. Los números de visitas, visitantes distintos y solicitudes son ciertamente parecidos y a pesar de que el número menor es el que corresponde a visitantes distintos, lo he elegido como parámetro para comparar como ha ido creciendo el número de interesados en *QuímicaViva*.

Antes de continuar debo confesar que carezco de nociones del manejo de estadísticas, a pesar de haber leído un libro entero sobre el tema cuando publiqué mi primer trabajo en el que desarrollé un nuevo método para titular el virus Junín utilizando cobayos. El método tenía la ventaja de ahorrar animales pero necesitaba validarse estadísticamente. Fue un adelanto para aquella época, lástima que ya lo había descrito un científico sueco anteriormente. Para aquellos años era muy difícil acceder a la bibliografía fácilmente.

En la era actual hay información de todo tipo a toda hora, conocimientos que pierden validez a las pocas horas de salir a la luz, diarios, *blogs*, redes sociales y la popularización de lo que publican los *hackers*. ¿Tendremos que repensar el mundo nuevamente? ¿Será mejor tener arsénico en nuestro ADN en lugar de fósforo? No tengo una respuesta apropiada, ni la tengo cuando leo las estadísticas de *QViva*. Lo que le ofrezco al lector está basado en los números que brinda *awstats*, los que no he manipulado. Toda la vida me he esforzado en adoptar comportamientos éticos y no los voy a abandonar ahora. Simplemente tengo que aclarar que si alguien objeta esta editorial no será porque no me he esforzado en hacer una lectura crítica. Los números de las visitas son tan apabullantes que he pensado en un índice que pudiera darles un grado mayor de realidad, y una posibilidad es considerar cuántos lectores incorporan la dirección de *QViva* al sitio de sus favoritos. Éstos son los datos que ofreceremos en esta editorial que el lector puede comprobar fácilmente ingresando al sitio de las estadísticas que comenzaron a aparecer en agosto de 2004. Siendo ésta una revista de ciencia y educación cometeré una digresión a la ortodoxia de una editorial e incluiré un cuadro de datos comparativos.

Según se desprende de los datos del cuadro se puede especular que hemos llegado a un techo de 350.000 lectores al año. A mi me parece una cifra muy elevada por tratarse de una

publicación de temas específicos en español. En la última columna del cuadro colocamos los valores del porcentaje de lectores que ingresan al sitio y lo añaden a sus favoritos, este dato interesante complica más aún la interpretación. De modo que sin entrar en un análisis profundo podemos decir que a medida que transcurre el tiempo de que *QViva* está *on-line* más lectores se interesan por la revista y en términos crudos podemos señalar con certeza que aproximadamente el 50% de las personas que acceden a *QViva* se interesan en sus artículos, lo que nos indicaría que existen aproximadamente 150.000 lectores a los que *QViva* por una u otra razón les brinda un beneficio.

Este dato debería ser apreciado por los potenciales contribuyentes con trabajos para publicar. En ese sentido tenemos que reconocer que recibimos muchos más trabajos provenientes de otros países de América y de España que de nuestros colegas argentinos, cuya colaboración la mayoría de las veces es invitación mediante.

**Visitantes distintos que solicitaron la página de *QViva* en un período de cinco años (incompleto)**

Año	Número de visitantes distintos	Añadido a favoritos (%)
2005	76.881	8,2
2006	175.569	24,1
2007	277.129	46,6
2008	351.728	50,2
2009	349.938	58,5
2010 (hasta el 6/12)	354.236	53,4

Otro dato de interés que provee *awstats* es discriminar las solicitudes por países, si bien la lista de países mencionados es muy completa, interesa conocer la nómina de los diez primeros. Por orden alfabético estos países son: Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos, México, Perú y Venezuela. Un análisis detallado mensual del año 2010 muestra para nuestra sorpresa, que con excepción del mes de Julio, México ocupa el primer lugar de visitantes. La Argentina ocupa casi siempre el segundo lugar exceptuando el mes de Julio, mientras que España y Colombia se alternan en el tercero y cuarto lugar. Los demás países suben o bajan en el *score*, mientras que los valores para Estados Unidos varían entre 1000 y 2000 lectores por mes.

Como corolario de este análisis podemos sentirnos satisfechos por el interés despertado por *QuímicaViva*, quizás para ponernos más acordes con la realidad virtual deberíamos incluir en nuestros artículos los símbolos de dos manitos, una con el dedo para arriba y otra con el dedo para abajo. De esta forma tendríamos una opinión instantánea de los lectores y una difusión secundaria basada en otros números que diga “*a tantos lectores les gustó este trabajo*”. Quién sabe si esta no es la mejor manera (o una buena manera) de medir el verdadero impacto de la publicación, (o de sus artículos).

Dra. Celia E.Coto  
Directora de *QuímicaViva*

## **Agua y salud humana**

**María Alejandra Córdoba<sup>1,2\*</sup>, Valeria Fernanda Del Coco<sup>1,3</sup>, Juan Angel Basualdo<sup>1</sup>**

1 Cátedra de Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de La Plata, 60 y 120, La Plata, 1900, Argentina

2 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 e/10 y 11, La Plata, 1900, Argentina

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

*\* Autor para Correspondencia: Dra. María Alejandra Córdoba*

*Cátedra de Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de La Plata, 60 y 120, La Plata, 1900, Argentina*

*Tel/Fax: + 54 221 4258987*

*acordoba@aetos.med.unlp.edu.ar*

Recibido: 02/06/2010

Aceptado: 01/07/2010

### **Resumen**

La protección de la salud pública requiere agua de bebida segura. La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad del agua desde el punto de vista de la higiene. En los países donde existe un sistema de vigilancia integrado, la mayoría de los brotes de origen hídrico han sido vinculados a fallas en el tratamiento, inclusión de agua contaminada en la red o a problemas de recrecimiento bacteriano en el sistema de distribución. Es importante por esto optimizar los métodos empleados para la detección de contaminación fecal, mediante la utilización de métodos más sensibles, con el fin de poner al alcance de la población agua segura desde el punto de vista microbiológico y parasitológico.

Palabras clave: agua potable – indicadores bacterianos - parásitos intestinales

## **Water & Public Health**

### **Abstract**

Public health protection requires safe drinking water. The most sensitive and specific way to analyze the water quality is to determinate the presence of indicator bacteria. In most countries with an integrated surveillance water system, the great majority of water outbreaks were associated to treatment failures, inclusion of contaminated water or bacterial regrowth at the water network. Is necessary to improve the sensibility of those methods used to detect faecal contamination, to provide safe drinking water from a microbiological and parasitological point of view.

Key words: drinking water – indicator bacteria – intestinal parasites

## 1. Generalidades

El agua es uno de los bienes más preciados para la vida en nuestro planeta. Es fundamental para satisfacer las necesidades humanas básicas, la salud, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, la energía y el mantenimiento de los ecosistemas regionales y mundiales.

Alrededor del 97% del agua en el planeta se encuentra en los océanos; del 3% restante, el 2,3% está solidificada en los casquetes polares, el 0,3% se encuentra tan profundamente confinada que su extracción resulta antieconómica y el resto se distribuye en ríos, lagos, riachuelos y subsuelo. Considerando que sólo hay dos fuentes de agua utilizables por el hombre, a saber: las superficiales y las subterráneas y que éstas sólo constituyen el 0,4% del total disponible, es fácil deducir que es un recurso escaso. Pero más escaso resulta si se piensa en términos cualitativos, ya que los procesos de contaminación de las mismas reducen aún más su disponibilidad (25).

Si bien el agua es necesaria para la supervivencia humana, es portadora de microorganismos y parásitos causantes de enfermedad y muerte (41). La disponibilidad inmediata de agua hace posible crear un medio ambiente higiénico que evita o limita la propagación de muchas enfermedades del hombre y de los animales (49). Estas enfermedades son el resultado de la pobreza, ignorancia, desnutrición y un saneamiento ambiental deficiente. A lo largo del mundo, más de mil millones de personas no tienen acceso al agua potable (45). Como consecuencia de esto, hay una significativa morbilidad debida a enfermedades transmitidas por el agua (Tabla 1).

Agente etiológico	Número de casos	
	1999-2000	2001-2002
<b>Desconocido</b>		
AGI(gastroenteritis aguda de etiología no conocida)	412	117
<b>Virus</b>		
Virus Norwalk	426	727
<b>Bacterias</b>		
<i>Campylobacter jejuni</i>	117	13
<i>C. jejuni</i> ; <i>Yersinia enterocolitica</i>	-	12
<i>Escherichia coli</i> O157 H:7	55	2
<i>E. coli</i> O157 H:7; <i>C. jejuni</i>	781	-
<i>Salmonella</i> spp	208	-
<b>Parásitos</b>		
<i>Giardia intestinalis</i>	52	18
<i>Cryptosporidium</i> spp	5	10
<i>Naegleria fowleri</i>	-	2
<b>Químicos</b>		
Cobre	-	30
Cobre y otros metales	-	4
Benceno, tolueno, xileno	-	2
Etilen glicol	-	3
Hidróxido de sodio	2	-
Nitratos	1	-

**Tabla 1.** Morbilidad de las enfermedades transmitidas por agua de bebida en Estados Unidos, años 1999-2002 (Adaptado de Lee *et al*, 2002 y Blackburn *et al*, 2004)

Se calcula que en el mundo en desarrollo el 80% de las enfermedades se debe al consumo de agua no potable y a las malas condiciones sanitarias (65). Se estima que una tercera parte de las defunciones en los países en desarrollo se deben al agua contaminada y, en promedio, hasta una décima parte del tiempo productivo de cada persona se ve sacrificado a raíz de las enfermedades relacionadas con el agua (48).

Para preservar la salud de la población es indispensable proteger las fuentes de suministro de agua potable con el fin de eliminar o reducir al mínimo el riesgo que significa su contaminación. La contaminación hídrica puede definirse como el resultado de la adición de cualquier tipo de sustancia o forma biológica que lleva a alterar su calidad a tal punto que restringe e impide su utilización (34).

Las aguas superficiales y subterráneas pueden contaminarse en la misma fuente, en la red de distribución o en los receptáculos de almacenamiento. Tanto las aguas superficiales como las subterráneas deben ser protegidas. Sin embargo, las aguas subterráneas, dada su buena calidad y su movimiento relativamente lento suelen ser más fáciles de controlar que las aguas superficiales.

La protección de la salud exige que las fuentes de suministro de agua estén situadas lo más lejos posible de las fuentes de contaminación, para eliminar o reducir al mínimo, el riesgo que éstas representan. Cuando se planea la extracción de agua de un acuífero, la distancia mínima de seguridad (DMS) para todas las actividades que puedan causar contaminación debe fijarse durante la etapa de planificación. Esta DMS debe determinarse sobre la base del tiempo que tardan los contaminantes en viajar desde su punto de origen hasta el acuífero. Es difícil fijar una DMS de aplicación universal, dado que el tiempo de desplazamiento de los mismos depende de las condiciones hidrogeológicas locales (48).

En relación con los abastecimientos a las comunidades, las fuentes de contaminación más corrientes son las instalaciones in situ de saneamiento y de tratamiento de las aguas servidas, los pozos abiertos y otras fuentes de superficie abierta y la ganadería concentrada (48). Es necesario por esto poner a disposición de los consumidores un abastecimiento satisfactorio.

Cuando se debe seleccionar una fuente para abastecer de agua a una comunidad, siempre es preferible utilizar aguas subterráneas antes que tratar las aguas superficiales (14, 60). Sin embargo, en muchos casos las aguas superficiales son las únicas a las que cabe recurrir, y hay que prever su tratamiento y desinfección con los medios disponibles. La disponibilidad de un buen sistema de abastecimiento de agua potable no basta por sí solo para garantizar la salud. Un adecuado manejo de alimentos y una correcta eliminación de excretas evitan que el agua de bebida pueda contaminarse e impiden que la comunidad se vea expuesta a gérmenes patógenos presentes en la materia fecal (65).

Como consecuencia de la contaminación, las enfermedades transmitidas por el agua pueden agruparse en: aquellas originadas por sustancias químicas y aquellas originadas por formas biológicas (enfermedades virales, bacterianas y parasitarias). El

riesgo que representan para la salud las sustancias químicas tóxicas que se encuentran en el agua de bebida es distinto del que suponen los contaminantes microbiológicos.

Son pocas las sustancias químicas presentes en el agua que pueden causar cuadros agudos de enfermedad, salvo por la contaminación accidental masiva del abastecimiento (47). Además, la experiencia demuestra que, cuando se producen accidentes de ese tipo, por lo común es imposible beber el agua debido a su sabor, su olor y su apariencia inaceptables.

Los problemas relacionados con sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que éstas pueden afectar negativamente la salud tras períodos de exposición prolongados; son motivo de especial inquietud los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas (47, 57).

Ha de señalarse que la utilización de desinfectantes químicos para tratar el agua da lugar, por lo común, a la formación de productos químicos secundarios, algunos potencialmente peligrosos (40, 58). No obstante, los riesgos que esos productos representan para la salud son extremadamente pequeños en comparación con los que supone una desinfección insuficiente. Por no tener habitualmente efectos agudos, los contaminantes químicos representan un problema diferente que los microbianos, cuyos efectos son, por lo general, agudos y generalizados. Se puede incluso afirmar que las normas químicas para el agua potable tienen una importancia secundaria cuando el agua está gravemente contaminada por bacterias y/o parásitos (8, 47).

La contaminación microbiológica puede ser directa o indirecta debido a excretas humanas o animales. Los patógenos pueden ser transmitidos directamente de humano a humano o de animal a humano, o indirectamente a través de alimentos, agua u otros objetos, los cuales estuvieron en contacto con heces (19, 31, 32, 39). El riesgo de contraer una enfermedad infecciosa es siempre mayor cuando las deyecciones de humanos y/o animales son ingeridas oralmente. La transmisión indirecta por el agua es posible porque los patógenos son resistentes a la acción de condiciones medioambientales desfavorables. En el agua o en el medio ambiente los patógenos pueden sobrevivir por días o semanas (15, 21, 22, 68, 71). Si la contaminación es reciente y los responsables de la misma son microorganismos patógenos causantes de enfermedades pueden producir enfermedad en la población que la utilice ya sea como agua de bebida o para la preparación de alimentos.

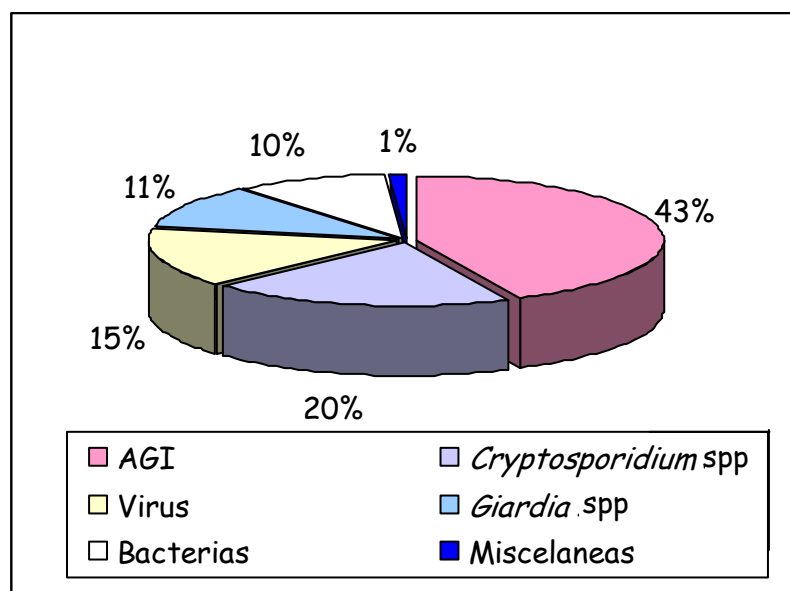
No todos los organismos presentes en el agua son patógenos estrictos, algunos se encuentran naturalmente en el agua y producen enfermedades oportunistas afectando principalmente a individuos cuyos mecanismos de defensas locales o generales se hallan disminuidos (22, 26, 33, 59).

Dentro de las enfermedades transmitidas por el agua, las afecciones intestinales son las más importantes (4, 23, 35, 50, 62). El cuadro clínico de la infección entérica puede ser muy variado dependiendo del agente implicado y del estado inmunitario del huésped. La

infección muchas veces puede ser asintomática o con trastornos leves o bien manifestarse con cuadros más severos acompañadas de deshidratación y muerte.

En el mundo han sido documentados diversos brotes de origen hídrico (26, 27, 37, 39, 50, 55). Ejemplos bien conocidos en países industrializados de tales brotes son los producidos en Canadá; Bowie *et al*, 1997 (11) y Mullens, 1996 (44) reportaron brotes por *Toxoplasma gondii* en 1994 y 1995. En Suiza Häfliger *et al*, 2000 (31) atribuyen al virus Norwalk un brote producido durante el año 1998. Estados Unidos por: *Escherichia coli* O157:H7 (10), *Campylobacter jejuni* (38) en 1999 y *Legionella* spp en los años 2001-2002 (9). Sin embargo, el principal brote de origen hídrico fue producido por *Cryptosporidium parvum* en Milwaukee en 1993, afectando a 403.000 personas, entre los cuales se encontraron hospedadores inmunocomprometidos que desencadenaron formas graves de la infección (12, 39, 43). En la Argentina, si bien no hay reportes de brotes de transmisión hídrica, la presencia del parásito mencionado en aguas subterráneas de abastecimiento poblacional y en aguas de superficie, fue constatada en la provincia de Santa Fe, Argentina por Abramovich *et al* 1996, 2001 (1, 3). En la provincia de Buenos Aires, Basualdo *et al* 2000 (8) demostró la presencia de este parásito en la red de distribución de agua potable de la Ciudad de La Plata.

Mientras algunas enfermedades pueden ser asociadas a un género o especie de microorganismo o parásito en particular, otras han sido agrupadas en una nueva categoría denominada “enfermedades transmitidas por el agua de etiología no conocida” (65), (AGI, Gráfico 1).



AGI= gastroenteritis aguda de etiología no conocida

**Gráfico 1. Agentes etiológicos asociados con enfermedades transmitidas por el agua (Tomado de Straub *et al*, 2003)**

Existen otros patógenos que pueden proliferar en el sistema de distribución de agua potable y producir enfermedad en el hombre, tales como: *Pseudomonas aeruginosa*,



*Aeromonas* spp, Mycobacterias atípicas, *Flavobacterium* spp, *Acinetobacter* spp, *Moraxella* spp, *Xanthomonas* sp, *Helicobacter pylori*, *Vibrio cholerae* O139 y amebas de vida libre (*Acanthamoeba* spp, *Balamuthia* spp y *Sappinia* sp) (59, 61, 63, 67, 70).

Cuando se trata de valorar la probabilidad de contraer una enfermedad transmitida por el agua, no basta saber si está presente o no un patógeno dado. El riesgo de contraer una infección aumenta con el grado de contaminación de la misma con agentes patógenos. Sin embargo, la posibilidad de contraer una infección depende de diversos factores tales como: persistencia del patógeno en el agua, viabilidad del mismo, dosis infectiva, y susceptibilidad del huésped.

La importancia del agua en la propagación de agentes etiológicos causantes de enfermedades es muy variable, dependiendo tanto del tipo de enfermedad, como de las circunstancias locales. Las medidas dirigidas a eliminar el riesgo de transmisión a través del agua han sido aplicadas luego del descubrimiento de los patógenos y sus posibles vías de transmisión.

## **2. Agua potable**

El Código Alimentario Argentino (Ley 18.284 18/07/69, Capítulo XII, Artículo 982. Res. MS y AS: 494 del 7-07-94, actualizado el 3-04-04) define como "agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario a aquella que es apta para la alimentación y uso doméstico. La misma no debe contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que resulten peligrosos para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios". Ambas deberán cumplir con una serie de características físicas, químicas y microbiológicas para ser aptas para consumo humano (13).

## **3. Proceso de potabilización**

La operación de potabilización del agua comprende una serie de procesos cuya finalidad es transformar la materia prima inicial (agua cruda) en un producto final (agua potable) que esté de acuerdo con las características impuestas por las normas vigentes (47). El propósito fundamental del tratamiento del agua es proteger a los consumidores de los patógenos y de las impurezas que puedan estar presentes en la misma y que puedan ser perjudiciales para la salud (6, 16, 17, 24, 56).

El tipo de tratamiento a emplear para potabilizar el agua dependerá del tipo de fuente a utilizar. Las aguas subterráneas, que son generalmente de buena calidad en su estado natural, no necesitan tratamiento o sólo muy poco. El agua sufre procesos de filtración natural a través de su paso por las estructuras filtrantes del subsuelo durante el proceso de captación. Este proceso reduce el grado de contaminación de la fuente original, lo cual disminuye aún más debido al agregado de cloro antes de su distribución (14, 60).

Las aguas superficiales están expuestas a contaminación y suelen ser de baja calidad (3, 18, 52). Estos contaminantes provienen de la descarga de aguas sin tratamiento o insuficientemente tratadas provenientes de establecimientos industriales, descarga de líquidos y/o barros cloacales, descarga de barros industriales, aguas de lluvia con arrastre de materias contaminantes y vertido de hidrocarburos y residuos. En la ciudad de La Plata donde los líquidos cloacales son eliminados al río sin tratamiento previo los parásitos intestinales pueden contaminar el mismo. Como el río es la principal fuente de agua para consumo humano y animal, esta polución, directa o indirectamente, puede contribuir a mantener y aun a propagar los parásitos entéricos. El Río de la Plata está severamente contaminado por parásitos como resultado de la continua descarga de toneladas de materia fecal cruda provenientes de la ciudad de La Plata en la costa sudeste de la ciudad de Berisso. 45,200 parásitos/m<sup>3</sup> ingresan al río por hora en este efluente, de los cuales el 90% corresponde a protozoos. De éstos, los más prevalentes son *Giardia* sp (9153 quistes/m<sup>3</sup>/h), *Entamoeba coli* (4623 quistes/m<sup>3</sup>/h) y *Cryptosporidium* spp. (1020 ooquistes/ m<sup>3</sup>/h) (18).

El único método eficaz para tratar aguas de superficie contaminadas está basado en el uso de múltiples barreras tales como coagulación, sedimentación (o flotación) y filtración que eliminan progresivamente los agentes patógenos y demás contaminantes. Este proceso finaliza con la desinfección (47).

#### **4. Vigilancia de la calidad del agua**

La vigilancia es la evaluación y supervisión permanente del abastecimiento de agua desde el punto de vista de la salud pública para verificar su inocuidad y aceptabilidad (48). La vigilancia contribuye a la protección de la salud de la población fomentando el mejoramiento de la calidad, cantidad, cobertura, costo y continuidad de los suministros de agua.

La necesidad de determinar la inocuidad del agua potable ha sido reconocida desde 1855 cuando Snow y Budd relacionaron brotes de fiebre tifoidea y cólera con aguas contaminadas con materia fecal (20).

Idealmente, el agua potable no debe contener ningún microorganismo patógeno, ni tampoco bacterias indicadoras de contaminación fecal. Para evaluar la calidad bacteriológica del agua potable se han desarrollado métodos que garantizan que el agua destinada a consumo humano se halla libre de contaminación fecal. Los análisis bacteriológicos ofrecen la prueba más sensible para detectar este tipo de contaminación, proporcionando una evaluación sanitaria de la calidad del agua. Para lograr esto deberán practicarse con regularidad ya que la contaminación puede ser intermitente y no haber sido detectada en el examen de una sola muestra. Un análisis bacteriológico puede probar, en el momento en que se realizó, la presencia de bacterias, en una muestra de agua determinada. Es importante tener en cuenta que los resultados de los exámenes bacteriológicos siempre tendrán que interpretarse en función a un conocimiento cabal de los sistemas de abastecimiento de agua, incluyendo su fuente, su tratamiento y su distribución

(16). Dichos análisis pueden determinar o no la aceptabilidad de los sistemas públicos de abastecimiento de agua.

Aunque es posible detectar la presencia de diversos organismos patógenos en el agua, los métodos empleados para su aislamiento y enumeración suelen ser muy complejos y demandan mucho tiempo y dinero (10, 28, 29, 53, 54). Es poco práctico someter a vigilancia el agua potable con el objeto de detectar todo posible patógeno que pudiera ocurrir como consecuencia de la contaminación fecal. Debido a esto, es que se recurre a la búsqueda de aquellos organismos que normalmente están presentes en las heces de los seres humanos y de los animales de sangre caliente como indicadores de contaminación.

El concepto de organismo indicador fue introducido en 1892 (20) y es la base para la mayoría de los estándares de calidad microbiológica del agua (5, 7, 13, 30, 46, 48, 69). La ausencia de estos organismos de origen fecal indica que probablemente no hay organismos patógenos aunque no predice la ausencia de bacterias oportunistas, virus (19, 36, 37) o protozoos tales como *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp (2, 7, 64, 66), los cuales son más resistentes a la desinfección (27, 42, 51, 72). Basualdo *et al*, 2000 (8) realizaron un monitoreo microbiológico y parasitológico del agua potable de la ciudad de La Plata. Se analizaron 14 muestras de agua, de las cuales 12 de ellas provenían de diferentes sitios dentro del área urbana, mientras que las 2 restantes fueron obtenidas a 200 metros de la planta potabilizadora, la cual se ubica a 15 km. de las afueras de la ciudad. En ninguna de las muestras analizadas se detectaron bacterias coliformes; sin embargo, en todas las muestras fueron encontrados parásitos intestinales, siendo los más prevalentes *Cryptosporidium* spp, *Blastocystis hominis*, *Entamoeba coli* y *Entamoeba hartmanni*.

## **Conclusión**

Las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por patógenos presentes en la misma. Un brote hídrico ocurre cuando dos o más personas experimentan simultáneamente una enfermedad similar después del consumo de agua contaminada. En los países desarrollados, los brotes de enfermedades transmitidas por el agua son reportados a organizaciones gubernamentales encargadas de la vigilancia epidemiológica. Estas entidades trabajan conjuntamente con el organismo abastecedor de agua, quien es el responsable de vigilar la calidad e inocuidad del agua que se produce y distribuye, a través de un sistema de vigilancia pasiva. La finalidad de este sistema es identificar al agente etiológico responsable de la producción de brotes, así como también determinar sus causas con el fin de controlar y prevenir estas enfermedades.

En nuestro país, el sistema de vigilancia, presenta falencias que nos impiden identificar los brotes transmitidos por el agua. Además, si éstos existen, pasan inadvertidos y en muchos casos no son detectados por lo que tampoco son reportados. A veces es muy dificultoso relacionar casos esporádicos con el consumo de agua contaminada, ya que en general muchas enfermedades diarreicas son autolimitadas.

La protección de la salud pública requiere agua de bebida segura. La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad del agua desde el punto de vista de la higiene. En los países donde existe un sistema de vigilancia integrado la mayoría de los brotes de origen hídrico han sido vinculados a fallas en el tratamiento, inclusión de agua contaminada en la red o a problemas de recrecimiento bacteriano en el sistema de distribución. La contaminación fecal del agua es evaluada habitualmente mediante el recuento de indicadores bacterianos del grupo de los coliformes. Sin embargo, su ausencia no predice contaminación fecal por parásitos intestinales. Esto bastaría para justificar la necesidad de una revisión profunda de los parámetros que actualmente se utilizan para considerar al agua de consumo como libre de patógenos entéricos.

## Bibliografía

- 1-Abramovich BL de, Lura de Calafell MC, Haye MA, Nepote A, Arganara MF, 1996. Detection of *Cryptosporidium* in subterranean drinking water. Rev Argent Microbiol 28(2):73-77.
- 2-Abramovich BL de, Lura MC, Gilli MI, Haye MA. *Cryptosporidium* and water, 1999. Rev Argent Microbiol 31(2):97-105.
- 3-Abramovich BL, Gilli MI, Haye MA, Carrera E, Lura MC, Nepote A, Gomez PA, Vaira S, Contini L, 2001. *Cryptosporidium* and *Giardia* in surface water. Rev Argent Microbiol 33(3):167-176.
- 4-Aguiar Prieto C, Cepero Martin JA, Coutin Marie G, 2000. Quality of drinking water and diarrheal diseases in Cuba, 1996-1997. Rev Panam Salud Publica 7(5):313-318.
- 5-American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Clescerl LS, Greenberg AE, Eaton AD, Washington, DC; 1998.
- 6-Baker KH, Hegarty JP, Redmond B, Reed NA, Herson DS, 2002. Effect of oxidizing disinfectants (chlorine, monochloramine and ozone) on *Helicobacter pylori*. Appl Env Microbiol 68(2):981-984.
- 7-Barrell RA, Hunter PR, Nichols G, 2000. Microbiological standards for water and their relationship to health risk. Commun Dis Public Health 3(1):8-13.
- 8-Basualdo J, Pezzani B, De Luca M, Córdoba A, Apezteguía M, 2000. Screening of the municipal water system of La Plata, Argentina, for human intestinal parasites. Int J Hyg Environ Health 203:177-282.
- 9-Blackburn BG, Graun GF, Yoder JS, Hill V, Calderon RL, Chen N, Lee SH, Levy DA, Beach MJ. Surveillance for waterborne disease outbreak- associated with drinking water United States 2001-2002. MMWR. Surveillance Summaries 2004; October 22, 53(SS08):23-45.
- 10-Bopp DJ, Sauders BD, Waring AL, Ackelsberg J, Dumas N, Howland EB, Dziejwski D, Wallace BJ, Kelly M, Halse T, Musser KA, Smith PF, Morse DL, Limberger JL, 2003. Detection, Isolation and molecular subtyping of *Escherichia coli* O157:H7 and *Campylobacter jejuni* associated with a large waterborne outbreak. J Clin Microbiol 41(1):174-180
- 11-Bowie WR, King AS, Werker DH, Isaac-Renton JL, Bell A, Eng SB, Marison SA, 1997. Outbreak of toxoplasmosis associated with municipal drinking water. Lancet 350:173-177.
- 12-Cicirello HG, Kehl KS, Addiss DG, Chusid MJ, Glass RI, David JP, Havens PL, 1997. Cryptosporidiosis in children during a massive waterborne outbreak in Milwaukee, Wisconsin: clinical, laboratory and epidemiologic finding. Epidemiol Infect 119(1):53-60.

- 13-Código Alimentario Argentino Actualizado. (2004). Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. <http://www.anmat.gov.ar/codigoa/caa1.htm> (2/09/04).
- 14-Conboy MJ, Goss MJ, 2000. Natural protection of groundwater against bacteria of fecal origin. *J Contam Hydrol* 43:1-24.
- 15-Cools I, Uyttendaele M, Caro C, D' Haese E, Nelis HJ, Debevere J, 2003. Survival of *Campylobacter jejuni* strains of different origin in drinking water. *J Appl Microbiol* 94(5):886-892.
- 16-Córdoba, M. A.; Del Coco, V. F.; Minvielle, M. C.; Basualdo, J. A, 2010. Influencing factors in the occurrence of injured coliforms in the drinking water distribution system in the city of La Plata, Argentina. *J Water Health* 8(2):205-211.
- 17-Cun C, Durand B, Leguyader M, Martin J, Vilagines R, 2002. Statistical study of the relationship between free chlorine levels and bacteriological checks on systems in the Paris area. *Sci Total Environ* 284:49-59.
- 18-De Luca MM, Pezzani BC, Córdoba MA, Basualdo JA, 1997. Characterization and quantitation of parasite species in the effluents of the Berisso main sewage channel, Buenos Aires, Argentina. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 200:349-357.
- 19-de Souza LC, Iaria ST, Pain GV, 1992. Salmonellas and fecal coliforms in drinking water for animals. *Rev Saude Publica* 26(5):321-327.
- 20-Edberg SC, Allen MJ, Smith DB, 1991. Defined substrate technology method for rapid and specific simultaneous enumeration of total coliform and *Escherichia coli* from water: collaborative study. *J Assoc Anal Chem* 74(3):526-529.
- 21-Fayer R, Morgan U, Upton SJ, 2000. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification. *Int J Parasitol* 30:1305-1322.
- 22-Ford TE, 1999. Microbiological safety of drinking water: United States and global perspectives. *Environ Health Perspect* 107(1):191-206.
- 23-Frost JA, Gillespie IA, O'Brien SJ, 2002. Public Health implications of campylobacter outbreaks in England and Wales, 1995-1999: epidemiological and microbiological investigations. *Epidemiol Infect* 128(2):111-118.
- 24-Gale P, Pitchers R, Gray P, 2002. The effect of drinking water treatment on the spatial heterogeneity of micro-organisms: implications for assessment of treatment efficiency and health risk. *Water Res* 36:1640-1648.
- 25-Gariboglio MA, Smith SA. Corrosión e incrustación microbiológica en sistemas de captación y conducción de agua. Aspectos teóricos y aplicados. Consejo federal de Inversiones. Serie Investigaciones Aplicada. Colección Hidrología subterránea. 1993; 1-99.
- 26-Gerba CP, Rose JB, Haas CN, Crabtree KD, 1996. Waterborne rotavirus: a risk assessment. *Water Res* 30(12):2929-2940.

27-Gostin LO, Lazzarini Z, Neshind VS, Osterholm MT, 2000. Water quality laws and waterborne diseases: *Cryptosporidium* and other emerging pathogens. Am J Public Health 90(6):847-853.

28-Gratacap-Cavallier B, Genoulaa O, Brengel-Pesce K, Soule H, Innocenti-Francillard P, Bost M, Golfti D, Zmirou D, Seigneurin JM, 2000. Detection of human and animal rotavirus sequences in drinking water. Appl Env Microbiol 66(6):2690-2692.

29-Griffin DW, Gibson CJ, Lipp EK, Riley K, Paul JH, Rose JB, 1999. Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida Keys. Appl Environ Microbiol 65(9):4118-4125.

30-Groupe AFNOR. 2004. Espace Normalisation. Normas:définition, élaboration, utilisation, rôle. <http://www.afnor.fr> .

31-Häfliger D, Hübner Ph, Lüthy, 2000. Outbreak of viral gastroenteritis due to sewage-contaminated drinking water. Int J Food Microbiol 54: 123-126.

32-Harrison SL, Nelder R, Hayek L, MacKenzie IF, Casemore DP, Dance D, 2002. Managing a large outbreak of cryptosporidiosis: how to investigate and when to decide to lift a 'boil water' notice. Commun Dis Public 5(3):230-239.

33-Hayes C, Elliot E, Krales E, Downer G, 2003. Food and water safety for persons infected with human immunodeficiency virus. Clin Infect Dis 36(2): 106-109.

34-Henningman RD. La contaminación del agua. En origen y control de la contaminación ambiental. Capítulo 4. Ed Maurice A Strabbe; 1973.

35-Hunter PR, Colford JM, LeChevallier MW, Binder S, Berger PS, 2001. Waterborne disease. Emerg Inf Dis 7(3):544-545.

36-Koopmans M, von Bonsdorff CH, Vinjé J, de Medici D, Monroe S, 2002. Foodborne viruses. FEMS Microbiol Rev 26:187-205.

37-Leclerc H, Mossel DAA, Edberg SC, Struijk CB, 2001. Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety. Annu Rev Microbiol 55(1):201-234.

38-Lee SH, Levy DA, Graun GF, Beach MJ, Calderon RL, 2002. Surveillance for waterborne disease outbreaks United States 1999-2000. MMWR Surveillance Summaries 51(55-8): 1-45.

39-Mac Kenzie WR, Hoxie NJ, Proctor ME, Gradus MS, Blair KA, Peterson DE, Kazmierczak JJ, Addis DG, Fox KR, Rose JB, Davis JP, 1994. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. N Engl J Med 331(3):161-167.

40-McDonnell G, Russell AD, 1999. Antiseptics and disinfectants: activity, action and resistance. Clin Microbiol Rev 12(1):147-179.

- 41-McJunkin FE. Agua y salud Humana. En: Noriega ed. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS); Limusa. México; 1988, 113-38.
- 42-Mir J, Morato J, Ribas F, 1997. Resistance to chlorine of freshwater strains. *J Appl Microbiol* 82(1):7-18.
- 43-Morris RD, Naumova EN, Griffiths JK, 1998. Did Milwaukee experience waterborne cryptosporidiosis before the large documented outbreak in 1993? *Epidemiology* 9(3):264-270.
- 44-Mullens A, 1996. I think we have a problem in Victoria: MDs respond quickly to toxoplasmosis outbreak in BC. *Can Med Assoc J* 154(11):1721-1724.
- 45-Naciones Unidas. Año internacional del agua dulce 2003. <http://www.un.org/spanish/events/water/>; 2002.
- 46-Organismo Regulador de Aguas Bonaerenses. Ministerio de Infraestructura, vivienda y servicios Públicos. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Marco legal: Código de aguas (ley N° 12.257). <http://www.orab.mosp.gba.gov.ar/>; 2004.
- 47-Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable 2ª. Ed. Vol 1: Recomendaciones. 1995. Alsograf Ed., Spain; 1995.
- 48-Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable 2ª. Ed. Vol 3: Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a las comunidades. Interprint Ed., Malta; 1998.
- 49-Organización Mundial de la Salud; UNICEF and Monitoring programme for Water supply & sanitation, collaborative council. Informe sobre la evaluación mundial del abastecimiento de agua y el saneamiento en 2000; 2001, 167.
- 50-Otsu, R, 1998. A mass outbreak of gastroenteritis associated with group C rotaviral infection in schoolchildren. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 21:75-80.
- 51-Payment P, Franco E, Richardson L, Siemiatycki J, 1991. Gastrointestinal health effects associated with the consumption of drinking water produced by point of use domestic reverse osmosis filtration units. *Appl Env Microbiol* 57:945-948.
- 52-Perez PF, Contanza O, Garré M, Morelli I, Martinez A, Vecchioli G, Paineira MT, 1993. Aislamiento de *Escherichia coli* resistente a antibióticos a partir de aguas del Río de la Plata. *Rev Argent Microbiol* 25:7-14.
- 53-Pyle BH, Broadaway SC, McFeters GA, 1995. A rapid direct method for enumerating respiring enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in water. *Appl Environ Microbiol* 61(7):2614-2619.
- 54-Quintero Betancourt W, Peele ER, Rose JB, 2002. *Cryptosporidium parvum* and *Cyclospora cayetanensis*: a review of laboratory methods for detection of these waterborne parasites. *J Microbiol Methods* 49:209-224.



55-Ramakrishna BS, Kang G, Rajan DP, Mathan M, Mathan VI, 1996. Isolation of *Vibrio cholerae* O139 from drinking water supply during an epidemic of cholera. *Trop Med Int Health* 1(6):854-858.

56-Rapala J, Lahti K, Räsänen LA, Esala AL, Niemelä SI, Sivonen K, 2002. Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. *Water Res* 36:2627-2635.

57-Reif SJ, Hatch MC, Bracken M, Holmes LB, Schwetz BA, Singer PC, 1996. Reproductive and developmental effects of disinfection by products in drinking water. *Environ Health Perspect* 104(10):1056-1061.

58-Richardson SD, 2001. Water analysis. *Anal Chem* 73(12):2719-34.

59-Rusin PA, Rose JB, Haas CN, Gerba CP, 1997. Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking water. *Rev Environ Contam Toxicol* 152:57-83.

60-Santa Cruz JN, 1995. Tipología general de contaminación de las aguas subterráneas en el conurbano bonaerense. *Rev Museo La Plata* 1(5):68-71.

61-Schuster FL, Visvesvara G, 2004. Free-living amoebae as opportunistic and non-opportunistic pathogens of humans and animals. *Int J Parasitol* 34:1001-1027.

62-Schvoerer E, Bonnet F, Dubois V, Rogues AM, Gachie JP, Lafon ME, Fleury HJA, 1999. A hospital outbreak of gastroenteritis possibly related to the contamination of tap water by a small round structured virus. *J Hosp Infect* 43:149-154.

63-Sharma S, Sachdeva P, Viridi JS, 2003. Emerging water-borne pathogens. *Appl Microbiol Biotechnol* 61:424-428.

64-Steiner TS, Thielman MM, Guerrant RL, 1997. Protozoal agents: what are the dangers for the Public Water supply? *Annu Rev Med* 48:329-340.

65-Straub TM, Chandler DP, 2003. Towards a unified system for detecting waterborne pathogens. *J Microbiol Methods* 53:185-197.

66-Szewzyk U, Szewzyk R, Manz W, Schleifer KH, 2000. Microbiological safety of drinking water. *Annu Rev Microbiol* 54:81-127.

67-Tauxe RV, 2002. Emerging foodborne pathogens. *Int J Food Microbiol* 78:31-41.

68-Theron J, Cloete TE, 2002. Emerging waterborne infections: contributing factors, agents and detection tools. *Crit Rev Microbiol* 28(1): 1-26.

69-United States Environmental Protection agency. Office of Water (4606) Washington, DC 20460. EPA 816-K-99-001. (1999). Drinking Water and health. <http://www.epa.gov/safewater/dwh/dw-health.pdf>. ; 2004.

70-Wadstrom T, Ljungh A, 1991. *Aeromonas* and *Plesiomonas* as a food and waterborne pathogens. *Int J Food Microbiol* 12(4):303-311.

71-Wang G, Doyle MP, 1998. Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in water. J Food Prot 61(6):662-7.

72-Yu FP, McFeters GA, 1994. Physiological responses of bacteria in biofilms to disinfection. Appl Env Microbiol 60(7):2462-2466.



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Revista **QuímicaViva**

Número 3, año 9, Diciembre 2010

[quimicaviva@qb.fcen.uba.ar](mailto:quimicaviva@qb.fcen.uba.ar)

## **Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos**

**Héctor H. Riojas González<sup>(1,3)</sup>, Luis G. Torres Bustillos<sup>(2)</sup>, Iram Mondaca Fernández<sup>(1)</sup>,  
José de Jesús Balderas Cortes<sup>(1)</sup>, Pablo Gortáres Moroyoqui<sup>(1)</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur,  
Colonia Centro, Cd. Obregón, Sonora, México. C.P. 85000

<sup>2</sup>UPIBI-Instituto Politécnico Nacional, Av Acueducto s/n Colonia Barrio La Laguna Ticoman.  
México, D.F. C.P. 07340

<sup>3</sup>[h.riojas@gmail.com](mailto:h.riojas@gmail.com)

Recibido: 4/11/2010

Aceptado: 2/12/2010

### **Resumen**

El proceso de biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos, llevado a cabo con surfactantes, está condicionado por las capacidades fisiológicas de los microorganismos, la estructura química del hidrocarburo, el tipo de surfactante y los factores ambientales del suelo. Aplicar surfactantes en una biorremediación puede actuar incrementando la biodisponibilidad del hidrocarburo mediante la acción paralela de la desorción y solubilización del contaminante, permitiendo la transferencia de masa y biodegradación. Pero también puede actuar en una inhibición y/o toxicidad de la población microbiana. La presente revisión tiene por objeto describir los efectos de los surfactantes en el proceso de biorremediación dándole un énfasis a los efectos que influyen en la biodisponibilidad y finalmente discutir sobre los factores que ocasionan la inhibición y toxicidad.

**Palabras clave:** Biodisponibilidad, surfactantes, biodegradación, hidrocarburos, solubilización micelar

### **Abstract**

Bioremediation process in soil contaminated with hydrocarbons, carried out with surfactants, is conditioned by physiological capabilities of microorganisms, chemical structure of hydrocarbon, surfactant type and environmental factors of soil. Applying surfactants in bioremediation may act by increasing the bioavailability of oil by the parallel action of the contaminant desorption and solubilization, allowing mass transfer and biodegradation. However it can produce or cause an inhibition and / or toxicity. The aim of this review is to describe the effects of surfactants in the bioremediation process giving emphasis to the effects that influence the bioavailability and finally to discuss factors causing inhibition or toxicity.

**Key words:** Bioavailability, surfactants, biodegradation, hydrocarbons, micellar solubilization

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental ocasionada por el petróleo y productos petroquímicos (mezclas complejas de hidrocarburos) se reconoce como uno de los más graves problemas de la actualidad, sobre todo cuando se asocia a los derrames accidentales a gran escala (1).

Una vez derramado este contaminante en el suelo, la mayoría de los compuestos alifáticos se pierden por volatilización, mientras que algunos hidrocarburos como los policíclicos persisten en la superficie (2), generando un gran impacto en virtud de sus efectos tóxicos y recalcitrantes para los seres vivos (3). Los hidrocarburos más estudiados son benceno, tolueno, etilbenzeno y xileno agrupados también bajo la apelación *BTEX* y los poliaromáticos (HAP), el diaromático naftaleno y los triaromáticos fenantreno, antraceno y fluoreno (4) que generan un impacto negativo a los ecosistemas y a la salud de los seres vivos (5).

Entre las técnicas más empleadas hasta ahora para la eliminación de los hidrocarburos presentes en los suelos, podemos citar la extracción de hidrocarburos por vacío, el lavado del suelo contaminado con agua, la incineración y la recuperación electrocinética entre otros (6). Se estima que los costos de restauración de residuos peligrosos pueden acercarse a 1,7 billones de dólares en los próximos 30 años tan solo en E.U.A. (7). Con algunas de estas técnicas se han conseguido efectos positivos, pero su elevado costo económico constituye hoy en día un obstáculo muy a tener en cuenta para su empleo (Tabla 1). Por ello, se ha planteado la posibilidad de buscar alternativas viables para la eliminación de los hidrocarburos contenidos en los suelos que sean ambientalmente correctas, simples y económicas. Aparecen así las técnicas de biorremediación, que consisten en hacer uso de microorganismos o plantas para conseguir eliminar mediante biodegradación una contaminación por orgánicos (8), y constituye una tecnología en clara expansión y muy competitiva, capaz de conseguir la biodegradación de los hidrocarburos contenidos en los suelos.

Tabla 1 Costos de tratamientos. Ref. (9)

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo por tonelada (dólares, E.U.A.)</b>
Depósito	\$140-200
Incineración	\$150-140
Estabilización/fijación	\$100-200
Biorremediación	\$15-17

Numerosos microorganismos, incluyendo bacterias, hongos y levaduras, son conocidos por su capacidad para degradar hidrocarburos (10). Contaminantes presentes en la fase líquida no acuosa (*NAPL*, por sus siglas en inglés) o absorbidos en la matriz del suelo no suelen estar disponibles para la degradación microbiana, por lo que la tasa de degradación es a menudo limitada por problemas de transferencia de masa (11).

Dependiendo de las características del suelo y del contenido de materia orgánica, los hidrocarburos de mayor peso molecular y menor solubilidad pueden adsorberse en los microporos de las partículas del suelo, resultando con esto ser inaccesibles como fuentes de

carbono y energía para los microorganismos. Ante este escenario los surfactantes actúan logrando incrementar la biodisponibilidad mediante la acción paralela de la desorción y solubilización del contaminante (2,12,13). Sin embargo la toxicidad e inhibición puede reducir el potencial de las aplicaciones en la biorremediación (7). Para elegir un surfactante para la biorremediación se debe tener en cuenta el tipo de contaminante que se desea remediar, las propiedades del suelo así como las propiedades del propio surfactante y por último la existencia de microorganismos degradadores del contaminante que se trate de remediar (14).

Los surfactantes son esenciales para el proceso de biorremediación, esto confirma el hecho de que algunos microorganismos producen su propio surfactante (biosurfactante) para solubilizar compuestos orgánicos hidrofóbicos (15).

En este artículo se analizan y discuten las interacciones que existen entre el hidrocarburo, el surfactante y los microorganismos presentes en el suelo, con relación a su biodisponibilidad y biodegradabilidad, así como el efecto de inhibición o toxicidad del surfactante en la población microbiana.

## 2. POTENCIAL DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Los suelos contaminados son, por lo general, colonizados por diferentes especies que se adaptan a las fuentes de energía presentes en el sitio. Se estima que en un gramo de suelo en condiciones naturales (no afectadas por acciones antropogénicas) se pueden encontrar hasta 600 millones de bacterias, entre las cuales pueden existir entre 15 mil y 20 mil especies distintas, en la Tabla 2 se presentan las bacterias más representativas del suelo (16).

Tabla 2. Composición de bacterias en el suelo Ref. (17).

Género	Bacterias en el suelo (%)
<i>Arthrobacter</i>	5-60
<i>Bacillus</i>	5-67
<i>Pseudomonas</i>	3-15
<i>Agrobacterium</i>	1-20
<i>Alcaligenes</i>	1-20
<i>Flavobacterium</i>	1-20
<i>Corynebacterium</i>	2-12
<i>Micrococcus</i>	2-10
<i>Taphylococcus</i>	<5
<i>Xanthomonas</i>	<5
<i>Mycobacterium</i>	<5

En los suelos contaminados con hidrocarburos, las bacterias y hongos capaces de utilizar hidrocarburos (18) representan el 1% de la población total siendo aproximadamente  $10^4$

a  $10^6$  células por gramo de suelo, también se han encontrado cianobacterias y algas capaces de degradar hidrocarburos. Los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos que los suelos no contaminados, pero su diversidad es más reducida (19). Todos los ecosistemas contienen algún tipo de microorganismo degradador de hidrocarburos, solo que varía su cantidad y diversidad (16). Se conoce que las bacterias son el grupo microbiano más versátil en la biodegradación de hidrocarburos, el 96% de las aisladas en medios líquidos (lagos, ríos y lagunas) presentan capacidad de crecer y emulsificar hidrocarburos (20). Leahy y Colwell (21) reportan que los microorganismos degradadores más importantes tanto en el agua como en el suelo son: *Pseudomonas sp*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium* y *Norcadia*.

Los hidrocarburos con menos de 10 átomos de carbono o bien de tres o menos anillos aromáticos tienden a ser fáciles de degradar (22,23). Igualmente algunos estudios han revelado que prácticamente todos los HAP con menos de 5 anillos son al menos parcialmente biodegradables por una variedad de microorganismos tanto aerobios como anaerobios (7). El benceno, xileno y tolueno, son ejemplos de componentes de la gasolina que se degradan con facilidad; por otro lado, algunas estructuras moleculares complejas como parafinas ramificadas, olefinas o alcanos cíclicos, son mucho más resistentes a la biodegradación (9). Las resinas y asfaltenos se consideran como compuestos resistentes a la biodegradación, esto se debe a que su estructura es muy compleja y deben intervenir diferentes tipos de enzimas que sean capaces de oxidar tanto alcanos lineales como cíclicos, aromáticos, policíclicos y heteropoliaromáticos (24,25). *Pseudomona eruginosa* es de los pocos organismos capaces de degradar alcanos de cadena ramificada (26). Durante la biodegradación ocurren dos eventos principales: el consumo del sustrato y el crecimiento microbiano, los cuales están estrechamente relacionados (13). La respuesta de los microorganismos degradadores de hidrocarburos a un agente surfactante dependerá de una serie de factores tales como la ultraestructura celular, la capacidad de biodegradación o flujo de salida, concentración del surfactante y la biodisponibilidad (26). Se estima que se necesitan de  $10^3$  a  $10^4$  UFC/g suelo de microorganismos para una biodegradación y  $10^5$  a  $10^6$  UFC/g de heterótrofos totales en el suelo capaces de metabolizar y mineralizar el contaminante hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (27).

Numerosos estudios señalan algunos factores ambientales que influyen en la biodegradación del hidrocarburo de los cuales se destacan: la presencia de nutrientes, oxígeno, humedad y una adecuada temperatura. Si se aplican surfactantes junto con los factores ambientales antes mencionados, se puede incrementar considerablemente el proceso de biorremediación.

### **3. APLICACIÓN DE SURFACTANTES EN LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

La biorremediación se ha visto favorecida con la presencia de surfactantes y/o biosurfactantes, en donde la biodisponibilidad se ha considerado como uno de los factores más

benéficos para la biorremediación y la posible inhibición y/o toxicidad como los factores adversos a considerar.

Cualquier nueva tecnología, como lo es la biorremediación con la aplicación de surfactantes, pueden implicar ciertos riesgos. Sin embargo, reconocer los factores de riesgo es un primer paso para reducirlos o evitarlos.

### 3.1 Los surfactantes

Los surfactantes son moléculas que tienen una fracción de cabeza polar hidrofílica y una cola hidrofóbica de fracción no polar (28) (Figura 1), manteniéndose principalmente en la interfase aceite/agua o aire/agua (29).

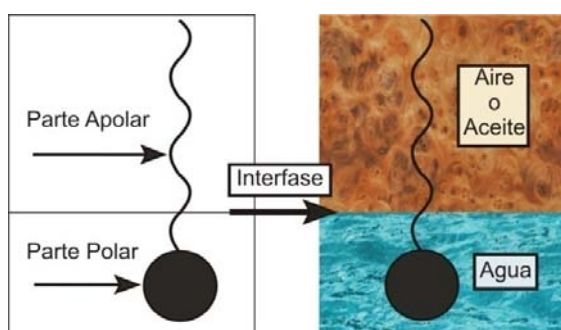


Figura 1. Ubicación de la molécula de surfactante en la interfase. Si el surfactante está dentro de la fase acuosa, su grupo polar puede estar rodeado de moléculas de agua (solvatación). Si el surfactante está disuelto en una fase oleica, su grupo apolar posee interacciones con el solvente (29).

El uso potencial de los surfactantes para remediar suelos contaminados con hidrocarburos depende principalmente de las capacidades fisiológicas de los microorganismos, la estructura química del hidrocarburo y los factores ambientales del suelo (12,30,31).

En un sistema la adición de surfactantes puede tener dos consecuencias: en primer lugar puede mejorar la dispersión y la pseudosolubilización como fue demostrado por Breuil y Kushner (32) quienes señalan que los ácidos grasos  $C_{16}$  y  $C_{18}$  y los surfactantes Triton X-100, FI-70, 75 y Brij, estimulan el crecimiento de *Pseudomonas eruginosa* en hexadecano. En segundo lugar, la presencia de surfactante líquido-líquido puede inhibir la adhesión bacteriana a esa interfaz, reduciendo la tasa de degradación, esto se demostró por primera vez por Aiba *et al* (33) para la degradación de n-dodecano y tetradecano en presencia de Tween 20 y para el n-hexadecano por Mimura *et al* (34). En la tabla 3 se presentan las ventajas y desventajas de los surfactantes.

Tabla 3 Ventajas y desventajas de los surfactantes

Ventajas	Ref.	Desventajas	Ref.
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se le atribuye el aumento de solubilidad y biodisponibilidad.</li> <li>○ De fácil comercialización, distribución y a bajo costo.</li> </ul>	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Su toxicidad y los efectos de los intermedios (residuos) suelen ser más tóxicos que los compuestos originales</li> </ul>	36
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mejora la degradación del hidrocarburo</li> <li>○ Algunos son biodegradables</li> <li>○ Se podría utilizar como sustrato primario cuando el contaminante se degrada co-metabólicamente.</li> </ul>	14	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Degradación preferencial del surfactante, puede disminuir la degradación del contaminante, la degradación del surfactante reducirá el efecto de la biodisponibilidad.</li> </ul>	37 38

### 3.2 Los Biosurfactantes

Algunos microorganismos pueden sintetizar sus propios surfactantes a los cuales se les conoce como biosurfactantes, incluso pueden sintetizar en condiciones extremas (39), la mayoría son neutros o de carga negativa, se clasifican por su composición química en: glicolípidos, lipopeptidos y lipoproteínas, fosfolípidos, ácidos grasos y poliméricos (40). En la tabla 4 se presentan las ventajas y desventajas de los biosurfactantes.

Tabla 4 Ventajas y desventajas de los biosurfactantes

Ventajas	Ref.	Desventajas	Ref.
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Son biodegradables</li> <li>○ Menos tóxicos que los sintéticos</li> <li>○ Las moléculas de superficie se adaptan a los cambios de sustrato de crecimiento</li> <li>○ Tienen estructuras definidas.</li> <li>○ Mejora la degradación del hidrocarburo</li> <li>○ Se le atribuye el aumento de solubilidad y biodisponibilidad.</li> <li>○ Son amigables al medioambiente.</li> </ul>	41	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La producción a gran escala de biosurfactantes es compleja y difícil.</li> </ul>	42 43
		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Algunos biosurfactantes pueden ser tan tóxicos como los sintéticos.</li> </ul>	44
		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pueden competir con el hidrocarburo como sustrato preferencial.</li> <li>○ La producción de biosurfactantes no es económicamente viable.</li> </ul>	30

Van Hamme et al (45) señalan que el biosurfactante en realidad puede tener una actividad antimicrobiana y es probable que los microorganismos produzcan moléculas tales como agentes antagonistas para ganar ventaja competitiva por el sustrato en las comunidades microbianas (es decir, amensalismo). Dicho lo anterior, a pesar de que el interés en biosurfactantes va en aumento, estos compuestos no compiten económicamente con los



surfactantes sintéticos (46). Para ser efectivo el uso de surfactantes sintéticos en la biorremediación los esfuerzos deben estar dirigidos en el desarrollo de surfactantes sintéticos no tóxicos que imiten la estructura de los surfactantes naturales (43).

### 3.3 Factores benéficos de los surfactantes en el incremento de la biodisponibilidad

Uno de los parámetros principales que influyen en el alcance de la biodegradación es su biodisponibilidad y este es un objetivo prioritario para el campo de biorremediación (47). Los contaminantes hidrófobos no son fácilmente biodisponibles debido a su baja solubilidad acuosa o su tendencia en adsorberse fuertemente al suelo (48,49). Se acepta que la biodisponibilidad es el factor más importante para que la degradación biológica termine siendo lenta, además parece disminuir con el tiempo del envejecimiento del suelo (7). La biodisponibilidad limitada de un contaminante se presenta cuando su tasa de degradación por microorganismos está afectada por una barrera físico-química entre el contaminante y los microorganismos. Para comprender mejor el proceso de biodisponibilidad es necesario comprender las interacciones entre el suelo, los contaminantes y los microorganismos (50). En la Figura 2 se muestra el esquema de las interacciones entre microorganismo, el suelo, contaminante y surfactante, en donde se describen las interacciones para la biodisponibilidad.

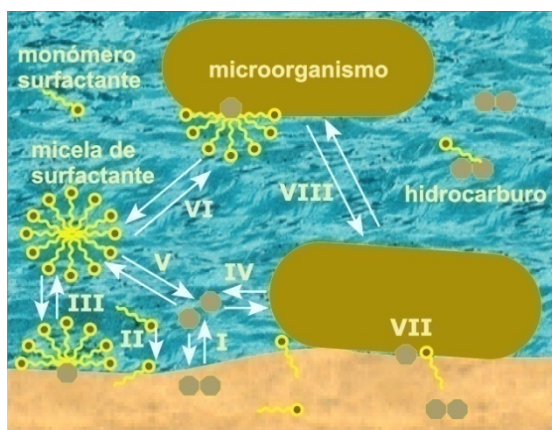


Figura 2. Las fases de interacciones: I.- adsorción de contaminantes, II.- adsorción de la molécula de surfactante, III.- solubilización del contaminante, IV.- contaminante fase acuosa para los microorganismos, V.- partición de contaminante entre la fase agua y la micela, VI.- adsorción de micela al microorganismo, VII.- contaminante fase sólida al microorganismo y VIII.- adsorción del microorganismo al suelo. Imagen modificada de Volkering (14).

El efecto más importante del surfactante entre el suelo y el contaminante es la estimulación del transporte de masa del contaminante desde el suelo hasta la fase acuosa, donde se puede dar la biodisponibilidad, la cual está influenciada por; las interacciones de surfactante-células, interacciones célula-contaminante e interacciones de superficie de contaminantes, esto va relacionado con tres mecanismos; la emulsión de contaminantes líquidos, solubilización micelar y la facilidad de transporte. Un contaminante adsorbido puede facilitar el transporte en el suelo, siendo este el efecto más importante de los surfactantes en biorremediación, por lo tanto, la reducción de la tensión interfacial y de superficie son probablemente los mejores parámetros para la selección del surfactante en la remediación biológica del suelo (51). Los factores que influyen en la biodisponibilidad son los siguientes.

### **3.3.1 La emulsión de contaminantes**

Muchos de los contaminantes persistentes tiene baja solubilidad en agua y por tanto la biodisponibilidad es mejorada con la adición de surfactantes, al reducir la tensión superficial e interfacial entre líquidos, sólidos y gases, les permite dispersarse fácilmente en emulsiones (52), lo cual se traduce en un aumento de superficie de contacto que permite la mejora de transporte de masa del contaminante a la fase acuosa y la movilidad adsorbida de la fase líquida del contaminante (53), por lo tanto la movilidad del contaminante a la fase de agua es removido con una emulsión. La emulsificación del surfactante puede aumentar el metabolismo microbiano con el hidrocarburo y puede incrementar la actividad enzimática microbiana o bien facilitar el transporte del sustrato orgánico de las células microbianas (31). En suelos hidrófobos que tienen un contenido crítico de humedad más allá de cómo se comporten como suelos hidrofílicos, una pequeña cantidad de surfactante puede emulsionar un poco de agua y luego promover el comportamiento hidrofílico (54).

### **3.3.2 Concentración Micelar Crítica**

La Concentración Micelar Crítica (CMC) es la concentración mínima para que el surfactante forme agregados llamados "micelas", los cuales son responsables de las propiedades de solubilización y de detergencia. Algunos estudios han demostrado que la biodisponibilidad se puede aumentar mediante la adición de los surfactantes en niveles inferiores de la CMC (11). La CMC de los surfactantes en disolución acuosa varía con la estructura de surfactantes, la temperatura de la solución, la presencia de compuestos orgánicos, electrolitos, entre otros (28). Por lo tanto, un surfactante con un valor menor de CMC será más deseable si puede llegar a solubilizar contaminantes en concentraciones bajas, con un mínimo de exposición de sustancias tóxicas para los microorganismos del suelo (55,56). El potencial de los surfactantes en determinadas concentraciones por debajo de su CMC para mejorar la degradación de los compuestos hidrófobos es notable, porque las altas concentraciones además de ser costosas también pueden ser tóxicas para los microorganismos (57). Aronstein y Alexander (11), señalan que el agente surfactante por encima de la CMC puede ser apropiado para el lavado de suelo, pero esta alta concentración puede ser inapropiada para la biorremediación. Del mismo modo Merrettig-Bruns y Jelen (58), señalan que los surfactantes para procesos de biorremediación por lo general están entre 10 mg/L es decir, aproximadamente 10-100 veces inferior a su CMC.

### **3.3.3 Solubilización micelar**

La baja solubilidad de muchos hidrocarburos reduce su disponibilidad para los microorganismos, incrementa la adsorción de compuestos de superficie y limita el proceso de biodegradación (59). La solubilidad es causada por la presencia de micelas, los compuestos orgánicos hidrofóbicos se disuelven principalmente en el núcleo de las micelas, donde tendrán un transporte micelar de los hidrocarburos a la fase acuosa, puede ser rápido debido al pequeño tamaño de la micela (60). Los microorganismos pueden acceder a un sustrato a

través de contacto directo con cristales sólidos (ejemplo: azufre elemental, fenantreno) gotas de líquido (ejemplo: el petróleo crudo disuelto en el agua) o por contacto con el sustrato pseudosolubilizado en micelas de surfactante, hemi-micelas (monocapas interfase de superficie) admicelas (bicapas interfacial de superficie) o gotas de emulsión (61). Kim *et al* (62) estudiaron sobre la eliminación de HAP con surfactante no iónico, llegaron a la conclusión que la solubilidad de los HAP es proporcional con las concentraciones de surfactantes, por encima de la CMC mejora, mientras que por debajo o cerca de la CMC no mejora la solubilidad de los HAP.

El surfactante puede mejorar la biodisponibilidad de dos formas: a) la velocidad de dilución se puede aumentar mediante la separación de los hidrocarburos por las micelas y b) el surfactante puede influir en el proceso de dilución mediante la interacción con la superficie del sustrato, esto afectara la máxima velocidad de dilución y puede aumentar el crecimiento microbiano (14), cuando están solubilizados están disponibles para ser metabolizados por los microorganismos (13). Tiehm (37) informó que un patrón exponencial se observó con un cultivo mixto de fenantreno solubilizado por surfactante no iónico. Según Kim *et al* (62), resultados de una mejor solubilidad (Brij30>Tween80>TritonX-100) indican que el naftaleno y fenantreno se ven afectados por la estructura de la micela. Shin *et al* (63) reportan que el pH óptimo en la solubilización del hidrocarburo puede no ser óptimo para el crecimiento microbiano y por tanto para la degradación. La captación del sustrato en micelas por la célula bacteriana se explica en la Figura 3 y en la Tabla 5.

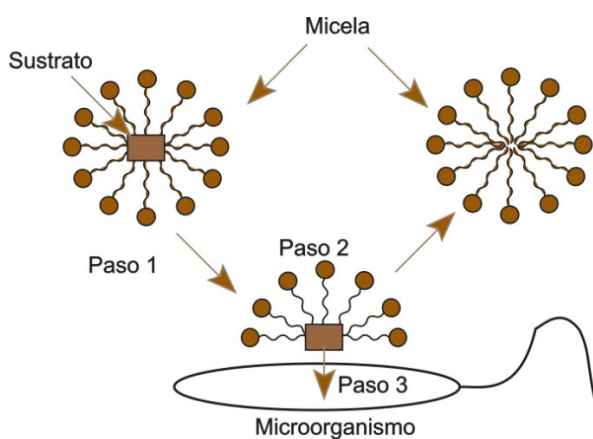


Figura 3. La transferencia de masa de micelas a la célula bacteriana se compone de tres pasos: Primer paso: es el transporte de la micela solubilizada con el sustrato. Segundo paso: es el intercambio de las moléculas del surfactante (micelas) con la célula, esta etapa se puede interpretar cómo el proceso para la degradación, y finalmente el Tercer paso: es la transferencia del sustrato a la célula bacteriana. Imagen modificada de Guha (61).

Tabla 5 Fases de la solubilización micelar. (Ref. 64)

Dos fases de la solubilización micelar:

I.- Fase de la cinética micelar, el tiempo de su formación es de microsegundos por lo tanto en este paso no suele ser limitante.

II.- Fase de la transferencia de masa de la micela en la célula, suele verse afectada por las interacciones específicas entre las micelas adsorbidas y las superficies celulares, esta etapa consta de tres pasos:

a) El transporte de la micela solubilizada con un sustrato a la célula o enzima mediante la mezcla.

b) El intercambio de las micelas con la capa hemi-micela de los surfactantes que forman las moléculas.

c) La transferencia del sustrato de la hemi-micela a la célula.

Tiehm (37) encontró que diferentes surfactantes no iónicos estimulan el crecimiento de cultivos mixtos en algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos, pero no pudo concluir si eso se debió a la estimulación del crecimiento del sustrato micelar, una pseudosolubilidad durante el primer periodo del experimento o por un máximo aumento de la tasa de disolución. El hecho de que el sustrato micelar no es fácilmente biodisponible tiene importantes consecuencias para la aplicación de los surfactantes en la biorremediación: en primer lugar, la presencia de micelas puede disminuir la concentración de contaminantes en la fase agua, reduciendo así la actividad de las bacterias o el crecimiento, este efecto combinado con la toxicidad de los surfactantes, podría explicar la inhibición de la mineralización del contaminante por surfactante micelar, como se describe por Laha y Luthy (65), en segundo lugar, en los procesos *in situ*, el sustrato no disponible puede ser removido y por lo tanto causa una contaminación no deseada en aguas subterráneas. Por estas razones un estudio cuidadoso antes del uso de surfactantes en la biorremediación puede ser recomendado. Zhang *et al* (66) señalan que a una alta concentración de surfactante, el sustrato no está disponible porque se encuentra en la fase micelar, las moléculas del sustrato tienen que ser transferidas de la fase micelar a la fase acuosa para que sean biodisponibles para los microorganismos. Lee y Chen (67) señalan que casi el 87% de solución de fenantreno fue degradado en presencia de Tergitol 15-5-7, la conclusión es que el fenantreno no es fácilmente biodisponible en la fase micelar en comparación a que si el fenantreno está en la fase acuosa.

Por el contrario, Cerniglia (68) demostró que el crecimiento de la *E.coli* en la glucosa no fue afectada negativamente por la presencia de micelas del surfactante Triton X-100, los ensayos de biodegradación fueron realizados con glucosa y ácido salicílico, esto es porque la glucosa es un sustrato fácilmente degradable, mientras que el ácido salicílico es un metabólico intermedio de la oxidación del naftaleno. Del mismo modo Lui *et al* (69) observaron la biodisponibilidad de micela solubilizada en microorganismos degradadores de naftaleno en dos surfactantes no iónicos Brij30 y Triton X-100, los resultados mostraron que el naftaleno solubilizado por las micelas es biodisponible y degradable por el cultivo mixto de bacterias.

Guha *et al* (61) estudiaron la cinética de biodegradación de fenantreno en la fase micelar con surfactantes no iónicos, la biodisponibilidad de fenantreno fue presentada por una concentración efectiva de fenantreno en la solución micelar disponible para la biodegradación. Pritchard *et al* (71) señalan que la solubilidad junto con el metabolismo microbiano de contaminantes orgánicos es técnicamente factible y tiene potencial como técnica de remediación. Zhang *et al* (66) señalan que el efecto de un sustrato sobre la biodegradación son consecuencia de una combinación del poder solubilizante del surfactante y la biodisponibilidad del sustrato en las micelas del surfactante.

### **3.3.4 Mecanismos del transporte de masa del contaminante**

Para una facilidad del transporte de los contaminantes de la fase sólida a la fase acuosa, debe ser causada por varios fenómenos: la interacción de moléculas de contaminante con surfactante, la interacción de surfactantes con las diferentes fases (tanto en monómeros como en micelas), la movilidad del contaminante sobre la materia orgánica y las partículas del suelo (71) y la reducción de la tensión superficial del agua sobre los poros de las partículas del suelo (71-73). Cuando la biodegradación está limitada por la biodisponibilidad del sustrato, la concentración de sustrato en el líquido es muy inferior a la concentración de saturación, esto significa que la facilidad de transporte es el mecanismo más importante que rige la tasa de biodegradación (74-77). La influencia del surfactante en la biodegradación se logra con la mejora en la transferencia de masa y la tasa de transferencia directa de la micela al microorganismo (78), tomando en cuenta que los hidrocarburos se pueden mover por medio de la fase acuosa y/o micelar (70). Volkering *et al* (75) encontraron que para los compuestos de baja solubilidad acuosa o de alta capacidad de adsorción (por ejemplo HAP) la masa de transferencia de la fase sólida a la líquida, puede ser esencial para el proceso de degradación microbiana.

### **3.3.5 Balance Lipofílico-Hidrofílico**

El valor del Balance Lipofílico-Hidrofílico (HLB por sus siglas en inglés) es un parámetro empírico que describe la contribución relativa de la fracción hidrofílica con el peso de la molécula de surfactante. El HLB con un valor de 3 a 6 es lipofílico y puede ser utilizado para preparar agua en aceite (w/o) en las emulsiones y los surfactantes con valor de HLB de 10 a 18 son más hidrofílicos (54). Kang *et al* (79) señalan que los surfactantes con una mayor HLB (Tween 80, Tween 60 y Tween 20) resultaron en una mejor solubilidad. Torres *et al* (80) señalan que el más alto crecimiento microbiano se observa con Tween 80 (valor mayor a 10 de HLB), los patrones de biodegradación no son necesariamente vinculados a los patrones de crecimiento de la biomasa. Si bien se tienen informes que la mejor biodegradación se suele tener en valores mayores de HLB de 10, Torres *et al* (81), reportaron que obtuvieron con Span 80 (4.3 de HLB) mejores resultados en la degradación del diesel, lo cual lo atribuye que un HLB bajo puede promover emulsiones aceite/agua, podría ser que el agua se emulsione en la fracción grasa y por lo tanto, los microorganismos contenidos en el agua están más cerca de la

fracción a degradarse y con agua disponible para la célula, Torres *et al* (54) señala que el mejor crecimiento microbiano se obtuvo a bajos valores de HLB, a bajas dosis de surfactante y a altas temperaturas. Del mismo modo, Fu y Alexander (82) realizaron un estudio con una amplia gama de concentraciones de surfactantes y valores de HLB desde 4.7 hasta 18, en concentraciones de 40 mg/kg hasta 400 mg/kg en 47 días, el que dio mejores resultados de remoción fue el Span 80 después de 37 días el efecto de este último puede estar relacionado con su valor de HLB bajo.

### 3.3.6 Adsorción-Desorción

Varios estudios revelan que los microorganismos solo pueden tomar sustratos disueltos (83). Existen sin embargo publicaciones que muestran que los compuestos adsorbidos son hasta cierto punto disponibles para el microorganismo sin previa desorción (84), incluso cuando está adsorbido al sustrato y pueda ser degradable será menos biodisponible, por lo tanto la desorción desempeña un papel esencial en la biodegradación (85). De igual manera la mayoría de los estudios publicados demuestran que la desorción y la movilidad del contaminante hidrófobo en el suelo pueden ser mejorados con la adición de surfactantes (13,73).

Kim *et al* (62) realizaron pruebas que señalan, el grado de magnitud de la desorción del hidrocarburo es menor para la arcilla que para la arena, esto se debe probablemente a que interfiere el contenido de la materia orgánica en la desorción. Según Volkering *et al* (14) los mejores parámetros para la selección de un surfactante para la remediación biológica, es la tensión interfacial y la desorción del contaminante. De acuerdo con Singh-Cameotra y Bollag (41) los surfactantes son eficaces en reducir la interfase del petróleo y también pueden reducir la viscosidad del aceite. Deschênes *et al* (86) señalan que una concentración muy alta de Tween 80 (156 g/L, 10.000 veces de la CMC) moviliza alrededor del 70% a los HAP del suelo contaminado. La adsorción y retención de HAP en la matriz del suelo son los procesos críticos que influyen a la movilidad del contaminante, la toxicidad y persistencia.

### 3.3.7 Temperatura

La temperatura afecta la biodegradación por medio de dos mecanismos, en primer lugar, el incremento de temperatura puede aumentar la constante de velocidad de desorción y la disminución de los coeficientes de distribución ( $K_d$ ) (87) y en cierta medida aumenta esto a la biodisponibilidad. En segundo lugar el aumento de temperatura (en un rango determinado) puede mejorar el crecimiento microbiano y su actividad, por lo tanto estimula la tasa de biodegradación (54). La temperatura afecta el crecimiento microbiano, así que a bajas temperaturas la degradación será lenta (88). Torres *et al* (80) señalan que los factores que más influyen en la biodegradación, son en primer lugar la temperatura, en segundo lugar el valor de HLB del surfactante y sorprendentemente en tercer lugar la dosis del surfactante, la conclusión del estudio indica que el tipo de familia de surfactante (es decir, producto químico) y no solo el valor de HLB afecta claramente la tasa de biodegradación.



### 3.3.8 Facilidad del surfactante de ser biodegradado por los microorganismos

La disminución de las fuerzas de interfase ocasionadas por los surfactantes origina una unión de moléculas orgánicas en la superficie del suelo, con esto se logra que los compuestos sean más fácilmente disponibles para los microorganismos (31). Sin embargo la biodegradación de los surfactantes no iónicos se hace más difícil cuando la parte hidrofóbica de la molécula es ramificada. Un anillo aromático en la parte hidrófoba de la molécula dificulta aún más la biodegradación (37). Amplia información sobre la biodegradabilidad de los surfactantes ha sido recopilada por Swisher (89) con una actualización de la degradación aeróbica de los surfactantes por Van Ginkel (90). En un análisis de sorción del suelo debe tener en cuenta los aspectos ambientales si se dejan grandes cantidades de surfactante en el suelo tratado, sin embargo ese problema es resuelto si este surfactante es fácilmente biodegradable (12). Sin embargo, si el surfactante es altamente biodegradable puede convertirse en competencia como fuente de carbono, lo que influye en la degradación del sustrato primario (37). Los surfactantes que sean fácilmente biodegradables perderán su capacidad de solubilización, por lo que se debe encontrar un equilibrio entre la biodegradación y su eficiencia de solubilización (43).

Scott y Jones (91) publicaron una excelente revisión sobre la biodegradación de los surfactantes en el medioambiente, ese estudio se centró en la presencia de detergentes en aguas residuales donde los surfactantes estaban presentes a menudo en concentraciones entre <0.1 y 3 mg/kg.

Torres *et al* (92) informan que existen surfactantes como Tween 80 y Surfapcol que son altamente biodegradables, el Surfapcol se biodegrada alrededor del 96% y el Tween 80 alrededor de un 45% en un periodo de 168 hrs. Wong *et al* (93) señalan que *Pseudomonas aeruginosa* cuando se combina con Tween 80 mejora de manera efectiva la solubilidad y degradación de fenantreno, y además el Tween 80 es biodegradable (94). Algunas pruebas dadas por Mihelcic *et al* (50) encontraron que la degradación anaerobia de los surfactantes no iónicos coincidió con las zonas en las que se observó la eliminación de tetracloruro de carbono. Kim *et al* (62) señala que Brij30 es el surfactante mas biodegradable, no mostrando inhibición de sustrato hasta una concentración de 1.5 g/L y es usado como fuente de C (por la bacteria).

White *et al* (95) han señalado que existen tres rutas para la biodegradación primaria en los compuestos iónicos: a) ataque y la degradación progresiva del grupo hidrofóbico, b) Ataque y degradación progresiva de grupo hidrofílico y c) Separación de hidrofílico a los grupos hidrófobos. Por lo tanto, el proceso de degradación, principalmente se limita a la degradación de la fracción del surfactante etoxilado.

Deschênes *et al* (96) lograron con una concentración de 0,5% un aumento sustancial con surfactante aniónico SDS (Sodio Dodecil Sufato) en la movilización de fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno y pireno, el efecto de la degradación de SDS, fue de 11 semanas de incubación, del cual fue casi completamente biodegradado. En una concentración mayor de SDS disminuyó la biodegradación de HAP, esto se puede explicar por la alta biodegradabilidad de SDS y su posible uso preferencial por los microorganismos nativos como sustrato. Este

estudio demuestra que el SDS es muy eficaz en el aumento de la concentración de HAP a la fase acuosa, lo cual sugiere que este surfactante puede aplicarse en la remediación. La adición de SDS en altas concentraciones reduce la biodegradación de HAP, esto es atribuible no por su toxicidad, sino en su uso como sustrato preferencial por parte de la microflora nativa. La alta biodegradabilidad de SDS sugiere que este surfactante no va a persistir por largos periodos de tiempo ni en el suelo ni en las aguas subterráneas después del tratamiento.

### **3.4 Factores adversos que pueden ocasionar los surfactantes**

De todos los aspectos antes mencionados de este artículo, la inhibición y toxicidad del surfactante siempre es desfavorable, todos los demás aspectos pueden tener efectos positivos o negativos sobre la remediación (14). El surfactante tiene poca utilidad cuando el propio producto da lugar a una contaminación ambiental. En consecuencia, la toxicidad de los surfactantes y sus potenciales de degradación son uno de los criterios más importantes para la selección de un agente surfactante en la remediación del suelo. Una revisión de la toxicidad de los diferentes tipos de surfactantes sobre numerosas especies se da por De Oude (97). Los estudios de surfactantes químicos han demostrado que la carga tiene un impacto sobre la toxicidad. En términos generales catiónicos son los más tóxicos y han sido usados históricamente como antimicrobianos, mientras que los aniónicos son menos tóxicos y más activos contra gram positivos que gram negativos, los no iónicos y biosurfactantes se consideran como los menos tóxicos. Los surfactantes pueden ejercer efectos tóxicos que causan disrupción en la membrana que conduce a la lisis celular, mediante el aumento de la permeabilidad de la membrana causando fugas metabólicas, alterando la estructura de la membrana física o la interrupción de la proteína, interfiriendo con la membrana en importantes funciones tales como la generación de energía y transporte. Los surfactantes pueden interactuar con las proteínas producidas por los microorganismos alterando tanto su conformación como sus funciones fisiológicas, en el caso de las enzimas estas interacciones pueden modificar la especificidad enzimática, de actividad o características de estabilidad (45). Incluso cuando los no iónicos son menos activos contra las bacterias que los iónicos, a mayor dosis de surfactante, mayor será la toxicidad del surfactante (98). Torres *et al* (81), establecen que la toxicidad del surfactante es determinada por la tendencia a la adsorción del surfactante y la facilidad de su penetración en la membrana celular, independientemente si el surfactante es catiónico, aniónico o no iónico. El efecto inhibitor se puede observar en concentraciones de surfactante por encima de la CMC (99) y la inhibición del contacto directo entre las células y las micelas con el sustrato (100), también se observa que el efecto del surfactante depende también de las bacterias que afectan lo que significa que las interacciones entre bacterias y surfactantes también se deben considerar (101).

Una determinada cepa puede responder de manera diferente a los distintos surfactantes expuestos, esto se debe a las interacciones específicas entre las moléculas de surfactante y la membrana celular (43). Los microorganismos anaerobios parecen ser los más afectados por la presencia del surfactante (45). Los efectos de los surfactantes en la fisiología



de los microorganismos van desde la inhibición debido a la toxicidad, a la estimulación del crecimiento debido al uso del surfactante como sustrato (14). Los surfactantes pueden interferir con transportes de la célula, dañando irreversiblemente la membrana estructural (desnaturalización de las enzimas). Se ha demostrado que incluso la compatibilidad de biosurfactantes con células estructurales de membrana a veces es específica del microorganismo que lo produce, y aunque los biosurfactantes son esencialmente biodegradables, pueden producir efectos negativos en las membranas de otros microorganismos (102).

Goncalves *et al* (103) utilizaron técnicas espectroscópicas para caracterizar la interacción de los surfactantes aniónicos con actividades enzimáticas, llegaron a la conclusión de que el surfactante promueve una interrupción o desestabilización de cruciales interacciones electrostáticas, lo que indica una pérdida en la estructura de la enzima, por lo que a mayor dosis de surfactante mayor es el grado de desnaturalización de la proteína.

### **3.4.1 Presencia de micelas en la biodegradación**

Existe controversia sobre la participación micelar en el proceso de biorremediación. Las moléculas de surfactante pueden llegar a penetrar en la membrana lipídica de las bacterias y por lo tanto cambiar el equilibrio osmótico a través de la membrana celular lo que conduce a la perforación de la célula y eventualmente a su muerte (68). Sin embargo, Li y Chen (43) reportan que, a concentraciones bajas (por debajo de la CMC), no se pueden formar micelas. Pero la incorporación de monómeros de surfactantes en la membrana celular es suficiente para afectar la función de la barrera de la membrana celular, induciendo algunos trastornos enzimáticos o bien penetrando en la célula.

Singh *et al* (12) señalan que cuando la concentración del surfactante tiene un valor por encima de la CMC se inhibe la biodegradación, lo que sugiere que el sustrato que está dentro de la micela no está biodisponible. Del mismo modo Laha y Luthy (99) mostraron que la concentración por encima de la CMC ocasiona inhibición en la biodegradación ya sea porque el grupo polar crea una barrera entre las micelas y los microorganismos degradadores los cuales no tienen fácil el acceso al sustrato o porque las moléculas de surfactantes pueden ser tóxicas para los microorganismos. Bewley *et al* (104) encontraron que los surfactantes no iónicos Triton X-100 y Tansoxid 550 mejoran la desorción del suelo, pero inhiben la degradación de varias cepas. Zhang y Miller (105) informaron el hecho de que la presencia de micelas no hace fácil la biodisponibilidad, lo cual influye en la aplicación de la biorremediación, la presencia de micelas puede disminuir la concentración de contaminantes con lo que crea una desaceleración o reduce el crecimiento microbiano, este efecto combinado con la posible toxicidad del surfactante podría dar cuenta a la inhibición de la degradación del hidrocarburo.

En contraste, otros estudios señalan que la presencia de las micelas de surfactantes no inhibe la degradación de hidrocarburos, éstos se solubilizan por micelas de surfactantes en medios líquidos logrando su biodisponibilidad y biodegradabilidad (65).

Volkering *et al* (75) realizaron experimentos de crecimiento microbiano adicionando surfactantes, informaron que no hubo efectos tóxicos de los surfactantes en concentraciones de hasta 10 g/L demostraron que no está fácilmente disponible (en la fase micelar) para la degradación por los microorganismos. Colores *et al* (106) reportaron que el surfactante Witconol NS70 (alcohol no iónico etoxilado) a una concentración por debajo de su CMC no afecta las tasas de mineralización de hexadecano y fenantreno, mientras que por encima de la CMC inhibe la degradación de hidrocarburos.

Laha y Luthy (99) señalan una inhibición de la degradación en varios surfactantes en donde se encontraban las concentraciones por encima de la CMC de fenantreno en un cultivo mixto, en concentraciones por debajo de la CMC no tuvo inhibición en estos mismos surfactantes, sin embargo los mismos autores no pudieron dar una explicación sobre el fenómeno inhibitorio. Makkar y Rockne (7) mostraron que los surfactantes por encima de la CMC no tuvieron efectos inhibitorios o tóxicos, la degradación mayor de fenantreno se debió a la solubilización por los surfactantes.

Liu *et al* (69) informan que el surfactante no iónico Triton X-100 en concentraciones por encima de la CMC no inhibe el crecimiento de la cepa Gram negativa *E.coli* en glucosa, esto confirma que las concentraciones de surfactante no producen efecto tóxico inherente.

Little *et al* (107) examinaron la estructura celular de las bacterias y los biofilms con técnicas de microscopía electrónica, el análisis de la muestra de barrido por microscopía se realizó para comparar las estructuras de la célula en el naftaleno, se evaluó con dos surfactantes Brij30 y Triton X-100 a 103 CMC, esta comparación mostró que no existen importantes diferencias estructurales entre las bacterias que crecen en el naftaleno, en ausencia y en presencia de micelas de surfactante. Esto confirma que el surfactante no tiene efectos sobre una ruptura de la membrana celular de la bacteria degradadora. La presencia de surfactante no tuvo efectos adversos sobre la glucosa en la mineralización con 0,20% (vol/vol) Brij30 (2253 CMC) y Triton X-100 (203 CMC).

### **3.4.2 Alternativas para reducir la toxicidad**

Los surfactantes no iónicos son las mejores opciones para mejorar la biodegradación de hidrocarburos debido a su baja toxicidad, sin embargo tienen diferentes grados de toxicidad en función de su estructura molecular. Polioxietileno octil fenol (Series Triton X) ha demostrado ser tóxico para las células, ya que puede solubilizar la biocapa lipídica de la membrana (108). Polioxietileno sorbitan (Series Tween) han demostrado que poseen baja toxicidad (109).

No necesariamente siempre causa el surfactante la inhibición y toxicidad, el solubilizar el contaminante en el suelo con ayuda de surfactantes puede ocasionar toxicidad, pero puede ser causado por el contaminante y no por el surfactante, así lo comenta Bramwell y Laha (110) mostraron que la presencia de fenantreno solubilizado (aplicando surfactante no iónico Tween 20) aumenta la toxicidad, esto indica que la toxicidad fue por el sustrato. También puede ocurrir que el contaminante incremente la toxicidad del surfactante tal como lo menciona Shin *et al* (111) al reportar pruebas de toxicidad al solubilizar el fenantreno, causando que aumentara la

toxicidad del surfactante 100 veces. De cualquier manera se debe reducir los efectos adversos de los surfactantes, algunas alternativas son las siguientes.

Por lo general la toxicidad del surfactante disminuye con el aumento de longitud de la cadena (es decir el aumento del HLB), esto se debe a la alta solubilidad acuosa de un surfactante con la HLB mayor, logrando con esto una menor intervención entre sus moléculas con la membrana celular (112). Se reduce la toxicidad de algunos surfactantes cuando están en concentraciones por debajo o cercanas de la CMC (113), de igual forma se puede reducir su toxicidad agregando dosis bajas.

Cserhati *et al* (114) señalan que los surfactantes mas tóxicos son los que tienen las partes hidrofóbicas del surfactante con grupos de 6 a 13 moléculas de etileno, disminuyendo su toxicidad con cadenas más cortas o más etoxiladas (115).

Sikkema *et al* (116) recomiendan agregar membranas biológicas las cuales consisten principalmente de fosfolípidos moleculares, que son muy similares a los surfactantes, por lo tanto estas membranas son muy eficaces en la adsorción de los surfactantes evitando que estos puedan generar efectos tóxicos o la posibilidad de una fusión micelar. Bardi *et al* (53) recomiendan agregar ciclodextrinas para la remediación de hidrocarburos en suelos, los cuales son compuestos naturales que forman complejos solubles con moléculas hidrófobas, son ampliamente usadas en la medicina e inofensivas para los microorganismos y enzimas. Boldrin *et al* (117) reportan que la toxicidad de los surfactantes disminuye con el aumento de longitud de la cadena etoxilada, incrementando la degradación de los hidrocarburos. Li y Chen (43), observaron que la toxicidad de Triton X-100 para la cepa *Sphingomonas* tuvo reducción significativa en la presencia de iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) es probable que los iones  $\text{Ca}^{2+}$  pueden estabilizar la membrana de la célula, haciendo que la célula se haga menos sensible a los agentes surfactantes.  $\text{Mg}^{2+}$  se observó que también mejora la tolerancia del surfactante a la célula, pero en un rango menos que  $\text{Ca}^{2+}$ .

El surfactante no iónico es normalmente menos tóxico para los microorganismos que los iónicos debido a las interacciones débiles con la membrana celular. Se deben hacer esfuerzos en el desarrollo de surfactantes sintéticos que sean compatibles biológicamente con las células (43).

#### 4. CONCLUSIONES

- La biorremediación es una tecnología que tiene un gran potencial en la recuperación de sitios contaminados por hidrocarburos de petróleo y generalmente es más barata que otras alternativas de restauración. Los factores externos de la biorremediación tales como los nutrientes, humedad, temperatura, oxígeno, pH, entre otros son importantes para lograr condiciones favorables. La biorremediación se ve muy favorecida con la aplicación de surfactantes, le ayuda en la biodisponibilidad del contaminante y con esto en su biodegradación, si bien pueden existir efectos negativos, esto hace suponer realizar pruebas previas, para definir el tipo de surfactante a utilizar y su dosis.
- Los surfactantes son compuestos que tienen la particularidad de mantenerse en dos interfases cuyo potencial y caracterización es su capacidad de emulsión, desorción, solubilidad y como agentes de superficie, son necesarios en procesos biológicos, en algunos tratamientos de biorremediación no se podrían llevar a cabo sin ayuda de estos compuestos.
- Si bien, existe interés en sustituir los surfactantes sintéticos por los biosurfactantes, estos últimos no compiten económicamente y resulta muy compleja y difícil su producción a gran escala, por lo tanto las investigaciones deben ser orientadas a mejorar los surfactantes sintéticos como por ejemplo en que su estructura sea similar al surfactante natural, que se pueda reutilizar y reciclar, en que no sean tóxicos o bien en buscar sinergias con mezclas de otras sustancias para aminorar los efectos negativos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Plohl K, and Leskovsek H. (2002). Biological degradation of motor oil in water. Acta Chim. Slov., 49, 279-289.
2. Jiménez DJ, Medina SA, Gracida JN. (2010). Propiedades, aplicaciones y producción de biotensoactivos. Rev. Int. Contam. Ambient. 26 (1) 65-84.
3. Tissot B, Welte DH. (1984). Petroleum formation and occurrence. New York USA: Springer-Verlang.
4. Kästner M and Mahro B. (1996). Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils affected by the organic matrix of compost. Appl Microbiol Biotechnol.44:668–675.
5. Gómez SE, Gutiérrez DC, Hernández AM, Hernández CZ, Losada M, Mantilla PC. (2008). Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos NOVA- ISSN:1794-2470 Vol.6 No.9,101-212
6. Paul EA, Clark FE. Soil microbiology and biochemistry. San Diego: Academic Press; 1998.
7. Makkar R, Rockne K. (2003). Comparison of synthetic surfactants and biosurfactants in enhancing degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Environ Toxicol Chem Vol. 22, No. 10, pp. 2280–2292.
8. Bollag, J.-M. 1992. Decontaminating soil with enzymes: An in situ method using phenolic and anilinic compounds. Environ. Sci. Technol. 26:1876–1881.
9. Kosaric N. (2001). Biosurfactants and their application for soil bioremediation. Food Technol. Biotechnol. 39, 295-304.
10. Chaillan F, Chaineau CH, Point V, Saliot A, Oudot J. (2006). Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings. Environ. Pollut., 144, 255-265.
11. Aronstein BN and Alexander M. (1992). "Surfactants at Low Concentrations Stimulate Biodegradation of Sorbed Hydrocarbons in Samples of Aquifer Sands and Soil Slurries," Environ. Toxicol. Chem. 11, 1227-1233.
12. Singh A, Van Hamme JD, Ward O. (2007). Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2. Biotechnology Advances 25: 99 – 121.
13. Helmy Q, Kardena E, Wisjnuprpto. (2009). Performance of petrofilic consortia and effect of Surfactant tween 80 addition in the oil sludge removal Process. J. of Applied Sciences in Environ. Sanitation, 4 (3): 207-218.
14. Volkering F, Breure AM, Rulkens WH. (1998). Microbiological aspects of surfactant use for biological soil remediation. Biodegradation 8, 401–417.
15. Lange S and Warger F. (1987). Structure and Properties of Biosurfactants. In Biosurfactants and Biotechnology, Marcel Dekker Inc., N.Y.
16. Duran M and Contreras N. (2006). Alternativa de tratamiento para tierras fuller contaminadas con aceite dieléctrico. Scientia et Technica Año XII, No 32. UTP. ISSN 0122-1701. pp.419-424

17. Ogram A. (1997). Methods of soil microbial community analysis. Manual of Environmental Microbiology. Washington DC, ASM Press, pp 422-430.
18. Sutherland J. (1992). Detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons by fungi. *J. Ind Microbiol.* 9:53-62.
19. Messarch M and Nies L. (1997). Modification of heterothropic plate counts for assessing the bioremediation potencial of petroleum contaminated soils. *Environ. Technol.* 18 : 639-646.
20. Dejonghe W, Berteloot E, Goris J, Boon N, Crul K, Maertens S, Höfte M, De Vos P, Verstraete W, and Top EM. (2003). Synergistic Degradation of Linuron by a Bacterial Consortium and Isolation of a Single Linuron-Degrading *Variovorax* Strain. *Applied and Environmental Microbiology*, p. 1532-1541, Vol. 69, No. 344.
21. Leahy J and Colwell R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*, 3, 305.
22. Gray MR, Banerjee DK, Fedorak PM, Hashimoto A, Masliyah JH and Pickard MA. (1994). Biological remediation of anthracene-contaminated soil in rotating bioreactors. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 40, pp. 933-940.
23. Tsomides HJ, Hughes JB, Thomas JM and Ward CH. (1995). Effect of surfactant addition on phenanthrene biodegradation in sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 14, pp. 953-959.
24. Fernández C, Llobregat M, Jiménez B, Altomare V, Labrador H. (2008). Biodegradación de asfalto y resinas por microorganismos presentes en suelo contaminado con hidrocarburo. *Rev. Fac. Ing. UCV v.23 N.4*.
25. Pineda-Flores G, Mesta-Howard AM. (2001). Petroleum asphaltenes: generated problematic and possible biodegradation mechanisms. *Rev Latinoamericana de Microbiología*, 43: 143-150.
26. Pérez RM, Camacho MI, Gómez JM, Ábalos A, Viñas M and Cantero D. (2008). Aislamiento y selección de una cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con petróleo. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, Vol. 39, No. 1.
27. Knaebel DB, Federle TW, McAvoy DC and Vestal JR. (1994). Effect of mineral and organic soil constituents on microbial mineralization of organic compounds in a natural soil. *Appl Environ Microbiol.*60:4500-4508.
28. Deshpande S, Shiau BJ. (1999). Wade, D.; Sabatini, D.A. and Harwell, J.H. "Surfactants selection for enhancing ex situ soil washing". *Pergamon.*, 33 (2), 351-60.
29. Celik GY, Aslim B and Beyatli Y. (2008). Enhanced crude oil biodegradation and rhamnolipid production by *Pseudomonas stutzeri* strain G11 in the presence of Tween-80 and Triton X-100. *J. Environ. Biol.* 29(6), 867-870.
30. Jayashree R, Vasudevan N and Chandrasekaran S. (2006). Surfactants enhanced recovery of endosulfan from contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 251-259.

31. Hadibarata T, Tachibana S. (2009). Enhanced Chrysene Biodegradation in Presence of a Synthetic Surfactant. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry- Environmental Research in Asia*. TERRAPUB. pp. 301–308.
32. Breuil C and Kushner DJ. (1980). Effects of lipids, fatty acids, and other detergents on bacterial utilization of hexadecane. *Can. J. Microbiol.* 26: 223–231.
33. Aiba S, Moritz V, Someya J and Haung KL. (1969). Cultivation of yeast cells by using n-alkanes as the sole carbon source I. batch culture. *J. Ferm. Technol.* 47: 203–210
34. Mimura A, Watanabe S and Takeda I.(1971). Biochemical engineering analysis of hydrocarbon fermentation III. analysis of emulsification phenomena. *J. Ferm. Technol.* 49: 255–262.
35. Robles IV, Fava F, Poggi HM. (2008). A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and Sediments. *Microbial Cell Factories*, 7:5
36. Holt MS, Mitchel GC and Watkinson RJ. (1992). The environmental chemistry, fate and effects of nonionic surfactants. In: Hutzinger O (Ed) *The handbook of environmental chemistry*. volume 3, Part F, (pp 91–98 and 119–139).
37. Tiehm A. (1994). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence of synthetic surfactants. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 258–263.
38. Oberbremer A, Müller-Hurtig R and Wagner F. (1990). Effect of the addition of microbial surfactants on hydrocarbon degradation in a soil population in a stirred reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 32: 485–489.
39. Liu Q, Dong M, ZhouaW, Ayub M, Zhang YP, Huang S. (2004). Improved oil recovery by adsorption–desorption in chemical flooding. *J Petrol Sci Eng*; 43:75–86.
40. Sulbarán M, Bahsas A, Velásquez W, Otoniel, J. (2005). Caracterización de Biosurfactantes producidos por *Pseudomonas* Fluorescentes aisladas de emulsiones de petróleo pesado. *Ciencia* v.13 n.2.
41. Singh-Cameotra S and Bollag J-M. (2003). Biosurfactant-Enhanced Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(2):111–126.
42. Gong G, Zheng Z, Chen H, Yuan C, Wang P, Yao L and Yu Z. (2009). Enhanced Production of Surfactin by *Bacillus subtilis* E8 Mutant Obtained by Ion Beam Implantation. *Food Technol. Biotechnol.* 47 (1) 27–31.
43. Li J-L, Chen B-H. (2009). Surfactant-mediated Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. ISSN 1996-1944. *Materials*, 2, 76-94
44. Lang S and Wagner F. (1993). Biological activities of biosurfactants. In: Kosaric N (ed.) *Biosurfactants*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
45. Van Hamme JD, Singh A and Ward OP. Physiological aspects. (2006). Part 1 in a series of papers devoted to surfactants in microbiology and biotechnology. *Biotechnology Advances* 24, 604–620.
46. Gautam KK and Tyagi VK. (2006). “Microbial Surfactants: A Review”, *J. Oleo Sci.*, Vol. 55, 155-166.



47. Bouwer EJ, Zhang W, Wilson LP and Durant ND. (1997). Biotreatment of PAHcontaminated soils/sediments. *Ann NY Acad Sci.* 829:103–17.
48. Billingsley KA, Backus SM, Wilson S, Singh A and Ward OP. (2002). Remediation of PCBs in soil by surfactant washing and biodegradation in the wash by *Pseudomonas* sp. LB400. *Biotechnology Letters* 24: 1827–1832.
49. Thibault SL, Anderson M and Frankenberger WT. (1996). Influence of surfactants on pyrene desorption and degradation in soils. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**: 283–287.
50. Mihelcic JR, Lueking DR, Mitzell RJ and Stapleton JM. (1993). Bioavailability of sorbed and separate-phase chemicals. *Biodegradation* 4: 141–153.
51. Yu H, Zhu L, and Zhou W. (2007). Enhanced desorption and biodegradation of phenanthrene in soil–water systems with the presence of anionic–nonionic mixed surfactants. *J. Hazard. Mater.* 142, 354.
52. Banat IM, Makkar RS, Cameotra SS. (2000). Potential commercial applications of microbial surfactants. *Appl Microbiol Biotechnol.* 53:495–508.
53. Bardi L, Mattei A, Steffan S, Marzona M. (2000). Hydrocarbon degradation by a soil microbial population with beta-cyclodextrin as surfactant to enhance bioavailability. *Enzyme Microb Technol.* 27:709–13.
54. Torres LG, Rojas N, Bautista G and Iturbe R. (2005). Effect of temperature, and surfactant's HLB and dose over the TPH diesel biodegradation process in aged soils: *Process Biochemistry.* V. 40, p. 3296– 3302
55. Lee, D.-H., Kim, E.-S., Chang, H.-W. (2005). Effect of Tween surfactant components for remediation of toluene-contaminated groundwater. *Geosciences Journal*, Vol. 9, No. 3, p. 261 – 267.
56. Aronstein BN, Calvilo YM and Alexander M. (1991). Effects of surfactants at low concentrations on the desorption and biodegradation of sorbed aromatic compounds in soil. *Environ Sci Technol* 25:1728-1731.
57. West CC, Harwell JH. (1992). Surfactants and subsurface remediation. *Environ Sci Technol* 26:2324-2330.
58. Merrettig-Bruns U and Jelen E. (2009). Anaerobic Biodegradation of Detergent Surfactants. ISSN 1996-1944. *Materials*, 2, 181-206.
59. Abalos A, Vinas M, Sabate J, Manresa MA and Solanas AM. (2004). Enhanced biodegradation of Casablanca crude oil by a microbial consortium in presence of rhamnolipid produced by *Pseudomonas aeruginosa* AT10. *Biodegradation*, 15:249-260.
60. Almgren M, Grieser F and Thomas JK. (1979). Dynamic and static aspects of solubilization of neutral arenes in ionic micellar solutions. *J. Am. Chem. Soc.* 101: 279–291
61. Guha S, Jaffe PR and Peters CA. (1998). Bioavailability of mixtures of PAHs partitioned into the micellar phase of a nonionic surfactant. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2317-2324.
62. Kim IS, Park J-S and Kim K-W. (2001). Enhanced biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons using nonionic surfactants in soil slurry. *Applied Geochemistry* 16, 1419–1428.

63. Shin K, Kim K and Seagren E. (2004). Combined effects of pH and biosurfactant addition on solubilization and biodegradation of phenanthrene. *Appl Microbiol Biotechnol* 65:336–343
64. Guha S and Jaffe PR. (1996). Biodegradation kinetics of phenanthrene partitioned into the micelle phase of nonionic surfactants, *Environ. Sci. Technol.* 30, 605–611.
65. Laha S and Luthy R. (1991). Inhibition of phenanthrene mineralization by nonionic surfactants in soil water systems. *Environ Sci Technol* 25:1920–1930.
66. Zhang YM, Maier WJ and Miller RM. (1997). Effect of rhamnolipids on the dissolution, bioavailability and biodegradation of phenanthrene. *Environ. Sci. Technol.* 31, 2211-2217.
67. Lee J-L and Chen B-H. (2009). Effect of Nonionic Surfactants on Biodegradation of Phenanthrene by a Marine Bacteria of *Neptunomonas naphthovorans*. *Research Express NCKU Vol.10* (4), 1-4.
68. Cerniglia CE. (1984). Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Adv. Appl. Microbiol.* 30:31–37.
69. Liu ZB, Jacobson AM and Luthy RG. (1995). Biodegradation of naphthalene in aqueous nonionic surfactant systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 145-151.
70. Pritchard PH, Lin J-E, Mueller JG and Lantz S. (1994). Metabolic and Ecological factors affecting the bioremediation of PAH- and creosote-contaminated soil and water, EPA/600/R-94/075, USEPA, Washington, DC.
71. Yeom IT, Ghosh MM and Cox CD. (1996). Kinetic aspects of surfactant solubilization of soil-bound polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.* 30: 1589–1595
72. Volkering F, Breure A, Andel J and Rulkens W. (1995). Influence of non-ionic surfactants on bioavailability and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl Environ Microbiol* 61: 1699–1705.
73. Seo Y, Bishop PL. (2007). Influence of nonionic surfactant on attached biofilm formation and phenanthrene bioavailability during simulated surfactant enhanced bioremediation, *Environ. Sci. Technol.* 41, 7107–7113.
74. Tsai TT, Kao CM, Yeh TY, Liang SH, Chien HY. (2009). Remediation of Fuel Oil-Contaminated Soils by a Three-Stage Treatment System. *Environ. Eng. Sci.*, 26(3): 651-659.
75. Volkering F, Breure A and Van Andel JG. (1993). Effect of microorganisms on the bioavailability and biodegradation of crystalline naphthalene. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 40:535–540.
76. Bogan BW and Lamar RT. (1995). One-electron oxidation in the degradation of creosote polycyclic aromatic hydrocarbons by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61, 2631–2635.
77. Schippers C, Gessner K, Mueller T and Scheper T. (2000). Microbial degradation of phenanthrene by addition of a sophorolipid mixture. *J Biotechnol* 83:189–198.
78. Grimberg SJ, Stringfellow WT and Aitken MD. (1996). Quantifying the biodegradation of phenanthrene by *Pseudomonas stutzeri* P16 in the presence of a nonionic surfactant. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 2387–2392.

79. Kang S-W, Kim Y-B, Shin J-D, Kim E-K. (2009). Enhanced Biodegradation of Hydrocarbons in Soil by Microbial Biosurfactant, Sophorolipid. *Appl Biochem Biotechnol.* 160:780–790.
80. Torres LG, Rojas N and Iturbe R. (2004). Use of two-surfactants mixtures to attain specific HLB values for assisted TPH-diesel biodegradation: *Journal of Environmental Sciences (China)*, v. 16, no. 6, p. 950–956.
81. Torres LG, Iturbe R and Orantes JL. (2003). Three surfactants CMC and diesel removal efficiencies from highly contaminated sandy soils. *Environ Geosci.* 10(1):28–36.
82. Fu MH and Alexander M. (1995). Use of surfactants and slurring to enhance the biodegradation in soil of compounds initially dissolved in nonaqueous-phase liquids. *Appl Microbiol Biotechnol.* 43:551-558.
83. Alvarez-Cohen L, McCarthy PL and Roberts PV. (1993). Sorption of trichloroethylene onto a zeolite accompanied by methanotrophic biotransformation. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2141–2148
84. Guerin WF and Boyd SA. (1992). Differential bioavailability of soilsorbed naphthalene for two bacterial species. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 1142–1152.
85. Gordon AS and Millero FJ. (1985). Adsorption mediated decrease in the biodegradation rate of organic compounds. *Microbial Ecol.* 11: 289–298
86. Deschênes L, Lafrance P, Villeneuve J and Samson R. (1996). Adding sodium dodecyl sulfate and *Pseudomonas aeruginosa* UG2 biosurfactants inhibits polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation in a weathered creosote-contaminated soil. *Appl Microbiol Biotechnol* 46:638–646.
87. Quyum A, Achari G, Goodman RH. (2002). Effect of wetting and drying and dilution on moisture migration through oil contaminated hydrophobic soils. *Sci Total Environ.* 296:77–87.
88. Holliger C and Zehnder A. (1996). Anaerobic biodegradation of hydrocarbons. *Current Opinion in Biotechnol.* 7 : 326-330.
89. Swisher RD. (1987). Surfactant biodegradation. Surfactant science series 18. Marcel Dekker, Inc., New York.
90. Van Ginkel CG.(1996). Complete degradation of xenobiotic surfactants by consortia of aerobic microorganisms. *Biodegradation* 7: 151–164.
91. Scott MJ and Jones MN. (2000). The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochemica et Biophysica Acta* 1508, 235-251.
92. Torres LG, Orantes JL, Iturbe R. (2006). Biodegradation of Two Nonionic Surfactants Used for In Situ Flushing of Oil-Contaminated Soils. *Tenside Surfactant Detergents*, 43 (5) 251–255.
93. Wong JWC, Fang M, Zhao Z and Xing B. (2004). Effect of surfactants on solubilization and degradation of phenanthrene under thermophilic conditions. – *Journal of Environmental Quality* 33: 2015-2025.
94. Singer ME, Finnerty WR. (1984). Microbiol metabolism of straight chain and branched alkanes. – In Atlas, R.M. (ed) *Petroleum microbiology*, Macmillan pub. New York.

95. White GF, Higgins TP and John DM. (1997). Multiple mechanisms for biodegradation of non-ionic surfactants in bacteria. In: proceedings of the International Symposium Environmental Biotechnology. Oostende, Netherlands. 21-23.
96. Deschênes L, Lafrance P, Villeneuve JP and Samson R. (1995). The effect of an anionic surfactant on the mobilization and biodegradation of PAHs in a creosote-contaminated soil. *Hydrological Sciences-Journal- des Sciences Hydrologiques*, 40,4, 471-484.
97. De Oude NT. (1992). The handbook of environmental chemistry. volume 3 part F: anthropogenic compounds. Springer Verlag, Heidelberg, FRG.
98. Helenius A & Simons K. (1975). Solubilization of membranes by detergents. *BioChem. Biophys. Acta* 415: 29–79.
99. Laha S and Luthy RG. (1992). Effects of nonionic surfactants on the solubilization and mineralization of phenanthrene in soil-water systems. *Biotechnol. Bioeng.* 40, 1367-1380.
100. Foght JM, Gutnick DL and Westlake DWS. (1989). Effect of emulsan on biodegradation of crude-oil by pure and mixed bacterial cultures. *App. Environ. Microbiol.* 55, 36-42.
101. Boonchan S, Britz ML and Stanley GA. (1998). Surfactant-enhanced biodegradation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons by *Stenotrophomonas maltophilia*. *Biotechnol. Bioeng.* 59, 482-494.
102. Mata-Sandoval JC, Karns J and Torrents A. (2000). The influence of surfactants and biosurfactants on the bioavailability of hydrophobic organic pollutants in subsurface environments. *Rev.Int. Contam. Ambient.* 16 (4) 193-203.
103. Goncalves AMD, Aires-Barros MR and Cabral JMS. (2003). Interaction of an anionic surfactant with a recombinant cutinase from *Fusarium solani* Pisi: a spectroscopic study. *Enzyme Microb Technol.* 32: 868–79.
104. Bewley RJF, Ellis B, Theile P, Viney I and Rees J. (1989). Microbial clean-up of contaminated soil. *Chemistry & Industry dec:* 778–783
105. Zhang Y and Miller R. (1992). Enhanced octadecane dispersion and biodegradation by a *Pseudomonas rhamnolipid* surfactant (biosurfactant). *Appl Environ Microbiol* 58:3276–3282.
106. Colores GM, Macur RE, Ward DM and Inskeep WP. (2000). Molecular analysis of surfactant-driven microbial population shifts in hydrocarboncontaminated soil. *Appl Environ Microbiol.* 66:2959–64.
107. Little B, Wagner P, Ray R, Pope R and Scheetz R. (1991). Biofilms: an ESEM evaluation of artifacts introduced during SEM preparation. *J. Ind. Microbiol.* 8:213–222.
108. Vanderwerf MJ, Hartmans S and Vandentweel WJJ. (1995). Permeabilization and lysis of *pseudomonas pseudoalcaligenes* cells by Triton X-100 for efficient production of D-Malate. *Appl. Microbiol.Biotechnol.* 43, 590-594.
109. Hickey AM, Gordon L, Dobson ADW, Kelly CT and Doyle EM. (2007). Effect of surfactants on fluoranthene degradation by *Pseudomonas alcaligenes* PA-10. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*74, 851-856.
110. Bramwell DAP and Laha S. (2000). Effects of surfactant addition on the biomineralization and microbial toxicity of phenanthrene. *Biodegradation.* 11, 263-277.

111. Shin KH, Ahn Y and Kim KW. (2005). Toxic effect of biosurfactant addition on the biodegradation of phenanthrene. *Environ Toxicol Chem.* 24:2768–74.
112. Jin DY, Jiang X, Jing X and Ou ZQ. (2007). Effects of concentration, head group, and structure of surfactants on the degradation of phenanthrene. *J. Hazard. Mater.* 144, 215-221.
113. Chen P, Pickard MA and Gray MR. (2000). Surfactant inhibition of bacterial growth on solid anthracene. *Biodegradation.* 11:341–7.
114. Cserhati T, Illes Z and Nemes I. (1991). Effect of non-ionic tensides on the growth of some soil bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35:115-118.
115. Cserhati T, Szoegyí M, Bordas B and Dobrovolszky A. (1984). Structural requirements for the membrane damaging effect of non homologous series of nonionic tensides. *Quant. Struct.-Act. Relat.* 3:56-59.
116. Sikkema J, De Bont JAM and Poolman B. (1995). Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiol. Rev.* 59: 201–222.
117. Boldrin B, Tiehm A and Fritzsche C. (1993). Degradation of phenanthrene, fluorene, fluoranthene, and pyrene by a *Mycobacterium* sp. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1927-1930.



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Revista **QuímicaViva**

Número 3, año 9, Diciembre 2010

[quimicaviva@qb.fcen.uba.ar](mailto:quimicaviva@qb.fcen.uba.ar)

## **Análisis de la superficie de cultivo para la producción de bioplásticos**

**R. Torrejón, A. Fernando, J.V. López, M. Aguilar, P. Arraiza.**

Dto. de Ingeniería forestal. E.T.S.I. de Montes. Universidad politécnica de Madrid. España.

[r.torreon@catedraecoembes.es](mailto:r.torreon@catedraecoembes.es)

Recibido: 14 /09/2010

Aceptado: 27/09/2010

### **RESUMEN**

El presente trabajo establece el potencial de mercado de los Bioplásticos (BPL), en tres escenarios: **Escenario CB** (crecimiento bajo), **Escenario CM** (crecimiento medio) y **Escenario CR** (crecimiento rápido). El objetivo final es Obtener las **superficies de cultivo** necesarias para satisfacer la demanda de las empresas productoras de BPL, según los tres escenarios.

Las regiones geográficas estudiadas son: La **Unión Europea** (UE-27), **Estados Unidos** (EE.UU) y la región de **Asia-Pacífico**, entendiéndose, que esta última región comprende la parte del Centro, Este y Sur de Asia, además de Australia y Nueva Zelanda. Son las principales zonas donde se encuentran las empresas productoras de los BPL estudiados.-Más del 95% de los BPL son elaborados en estas regiones. Se han realizado tres proyecciones para los años **2010, 2015 y 2020**.

*PALABRAS CLAVE: Bioplástico, superficie de cultivo, envase, biopolímero, biodegradable, escenario*

## **CROP SURFACE ANALYSIS IN BIOPLASTIC PRODUCTION**

### **SUMMARY**

The current study presents three scenarios with the aim of showing the potential market of Bioplastics (BPL): **Scenario CB** (low growth), **Scenario CM** (medium growth) and **Scenario CR** (fast growth). The final goal is to get the appropriate **crop surface** to satisfy the BPL companies producers demand under the three scenarios given.

The researched regions are: **The European Union** (UE-27), **The United States of America** (USA) and **the Asian-Pacific** region, knowing that the Centre, East and South of Asia, Australia and New Zealand belong to the last one. These regions gather the main BPL companies producers- more than 95% of the BPL produced. Three projections have been developed to 2010, 2015 and 2020.

*KEY WORDS: Bioplastic, crop surface, packaging, biopolymer, biodegradable, scenario*

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

El sector de los BPL se encuentra en constante expansión y cambio y por ello se hace necesaria una revisión periódica del mismo. A día de hoy, la principal aplicación de los BPL es el sector envase. Se prevé un porcentaje de sustitución por todos los tipos de BPL ente 5 y el 10% del mercado total de plástico (Theinsathid P.et al 2009).

Uno de los principales problemas que frena la introducción de los envases elaborados con materias primas renovables, es su actual costo y la falta de instalaciones de compostaje (De Almeida A. et al 2004, Hesser M., 2006).

Como base para este trabajo se ha utilizado PRO-BIP (Shen et al., 2009) este informe desarrolla tres escenarios, denominados: PROBIP "LOW", PROBIP "BAU" y PROBIP "HIGH". Estas hipótesis se basan en factores que influyen en la evolución de los BPL, como las barreras técnicas, el costo, el suministro de materias primas, etc. El informe *A Greener Chemistry for Industry* (Paternostre L., 2007) obtiene las producciones planeadas en Europa. En él, se contemplan tres tipos de escenarios: "without P&M", with "P&M" y "high growth". Se realizaron encuestas a las principales empresas productoras de BPL para obtener las producciones proyectadas y los rendimientos estimados por las mismas. Se observa la necesidad de obtener las **superficies de cultivo** necesarias para satisfacer la demanda de las empresas productoras de BPL, según los tres escenarios y las diferentes regiones.

## OBJETIVOS

Analizar los bioplásticos biodegradables de base biológica. (**Polímeros de almidón, ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHAs)**).

Estimar la **producción de los BPL** según los escenarios desarrollados y comparar los resultados obtenidos con el mercado de los plásticos convencionales y su aplicación en el sector envase.

Obtener las **superficies de cultivo** necesarias para satisfacer la demanda de las empresas productoras de BPL, según los tres escenarios.

## METODOLOGÍA

Se ha seguido la siguiente metodología:

Diseño de los tres escenarios que describan la evolución de los BPL. Se han fijado en función de a) evolución de la economía: sin crecimiento o crecimiento muy leve; situación intermedia de crecimiento y fuerte crecimiento b) competitividad respecto a los polímeros sintéticos derivados del petróleo (precio del petróleo), ya que se observa que éste condiciona la evolución y desarrollo tecnológico de los biopolímeros: precio del petróleo bajo (>75\$ barril); precio medio (hasta 110 \$ barril); precio alto (> 110 \$ barril) y c) de las políticas de apoyo a los BPL por parte de los gobiernos: sin política de apoyo ni subvenciones y con políticas de apoyo. Estimar la producción de los BPL, según los tipos de escenarios desarrollados. La prospección llevada a cabo con la recopilación de toda la información obtenida ha servido de base para



estimar la tasa de crecimiento de la producción de BPL y estimar la distribución de los tipos de BPL (polímeros de almidón, PLA, PHA).

Comparar las producciones obtenidas con las de otros informes citados anteriormente. Comparar la producción de los BPL en el mercado los plásticos y más concretamente, en el sector envases. Para ello, ha sido necesario cuantificar los BPL que serán utilizados en este sector.

Obtener las superficies de cultivo requeridas para la elaboración de los BPL, según las producciones proyectadas y los rendimientos estimados.

## **HIPOTESIS PLANTEADAS**

A continuación se describen los escenarios planteados.

**ESCENARIO “CB”.** En este escenario los bioplásticos experimentan un leve crecimiento. El crecimiento económico no es muy alto. Los bioplásticos no son capaces de competir con los polímeros tradicionales. No hay un apoyo ambiental ni político. Los BPL tienen una inclusión en el mercado de los plásticos convencionales menor del 1%.

**ESCENARIO “CM”.** Este escenario establece una situación intermedia. Existen ciertas medidas de apoyo en el uso de los BPL. Gracias a estas medidas los BPL se puedan desarrollar.

**ESCENARIO “CR”.** Es la situación más optimista. La producción de BPL es apoyada por todas las partes. Existe apoyo político. Los consumidores han sido correctamente informados sobre las ventajas de los BPL y existe una constante demanda de éstos. Mejora la tecnología para la elaboración de BPL, por lo que éstos son más baratos. En definitiva, los BPL sean competitivos en el mercado de los plásticos convencionales.

## **SUPERFICIES NECESARIAS**

Para obtener las superficies de cultivo es necesario estimar las producciones de los BPL para cada etapa temporal y cada región.

### ***Producción de los BPL***

En el año 2010, debido a la crisis económica mundial se considera que la producción en el escenario CM y CR sea la misma. La distribución de BPL en el año 2010 sería como aparece en la Figura 1.

En el año 2015, los datos de producción anunciados por las principales empresas de BPL y la evolución esperada de los diferentes tipos de BPL (Crank et al., 2005, Siroth et al 2009, Zhuan, 2008) han servido para proyectar el desarrollo de los BPL durante esta etapa. A continuación se explica la evolución de los de BPL, para cada región y escenario.

## **EUROPA**

**Escenario “CB”** En esta situación se supone que los BPL no experimentarán un gran cambio, es decir, su situación será similar a la de la etapa anterior.

Escenario “CM” y “CR” Según las producciones de BPL anunciadas por las diferentes empresas durante este período, Europa experimentará un crecimiento menor que las otras dos regiones analizadas. Esta situación puede responder a la recuperación económica de la región de la actual crisis en la que se encuentra inmersa.

Europa seguirá siendo la principal región productora de polímeros de almidón, además incrementará la producción de los otros dos tipos de BPL en los escenarios CM y CR.

### ESTADOS UNIDOS

Escenario “CB” La cantidad y distribución de los tipos de BPL se mantendrá similar a la etapa anterior.

Escenario “CM” y “CR” Los plásticos de PLA serán los más elaborados en esta región. La empresa americana *NatureWorks* espera ampliar su capacidad de producción. La empresa *Meredian* ha anunciado la instalación de una nueva planta de PHA con una capacidad de producción de 272.000 toneladas.

### ASIA-PACÍFICO

Escenario “CB” Se mantendrá una situación similar a la actual.

Escenario “CM” y “CR” El PLA es el bioplástico con mayor proyección (faostat.fao.org, 2008), aparte de éste, durante esta etapa se espera un desarrollo de los BPL de PHA, empresas como Tianan ampliarán su producción.

La Tabla 1 muestra la producción y distribución de los BPL, en cada escenario, según lo estimado en las tres regiones.

En el año 2020, se añaden dos posibles situaciones más para la distribución de los tipos de BPL, a esto se le ha denominado “CR<sup>1</sup>” y “CR<sup>2</sup>”; considerando que la distribución de BPL “CR<sup>1</sup>” sea similar a la etapa anterior, en cambio la distribución tipo “CR<sup>2</sup>” represente otra distribución diferente.

### EUROPA

Escenario “CB” Se mantiene una distribución de BPL similar a la etapa anterior.

Escenario “CM” Los BPL de almidón tendrán una producción muy superior a los otros dos tipos de BPL (Crank M et al. 2005), sin embargo, se ha estimado que los plásticos de PLA y de PHA continuarán creciendo durante este período (*PlasticsEurope*).

Escenario “CR” La primera opción, “CR<sup>1</sup>”, apuesta por el desarrollo incondicional de los plásticos de almidón, mientras que la segunda opción, “CR<sup>2</sup>”, aboga por un aumento de los plásticos de PLA y PHA.

### ESTADOS UNIDOS

Escenario “CB” Se mantiene una distribución de BPL similar a la etapa anterior

Escenario “CM” Se mantiene que los plásticos de PHA sigan creciendo. EEUU será el principal productor de PHA (Paternostre 2007; Shen et al., 2009).

Escenario "CR" La primera, "CR<sup>1</sup>" sigue la línea trazada en la etapa anterior, que consiste en el desarrollo de los BPL de PLA y PHA y la segunda opción, "CR<sup>2</sup>" considera un mayor incremento en los BPL de almidón.

### ASIA-PACÍFICO

Escenario "CB" Se mantiene una distribución de BPL similar a la etapa anterior.

Escenario "CM". Se mantiene que los plásticos de PLA sigan creciendo en esta región. Asia aspira a convertirse en la principal región productora de PLA.

Escenario "CR" "CR<sup>1</sup>", mantiene el desarrollo de los BPL de PLA y PHA expuesto en la etapa anterior, mientras que el segundo tipo de distribución, "CR<sup>2</sup>", considera un nivel de desarrollo similar entre los BPL de almidón y los de PLA. (Tabla 1).

### **4.3 Inclusión de los BPL en el mercado de los plásticos estándar**

Entre el 5 y el 10% del mercado total de plástico podría ser sustituido por todos los tipos de BPL. (Theinsathid et al., 2009).

Primero, el consumo de los BPL se compara con el de los plásticos estándar y en segundo lugar, se realiza un estudio más concreto comparando el consumo de BPL con el de los plásticos utilizados exclusivamente en el sector envase.

#### **a) Inclusión de los BPL en el mercado total de los plásticos convencionales**

Tras conocer la producción de estos plásticos y estimar su crecimiento en los próximos años, los BPL se pueden comparar con los plásticos.

#### **Crecimiento de los plásticos**

##### **Año 2010**

El consumo mundial de plástico alcanzará los 300 millones de toneladas, con un crecimiento medio anual en los últimos años del 5% (*PlasticsEurope*).

##### **Año 2015.**

Se estima que el consumo medio de los plásticos continúe creciendo una media de un 5% anual, hasta el año 2015. Las tasas de crecimiento por países serán muy dispares según la asociación *PlasticsEurope*.

##### **Año 2020.**

Se espera que el incremento en la demanda de plásticos se estabilice, por eso se ha considerado un crecimiento medio anual del 2%.

#### **b) Inclusión de los BPL en el mercado de los plásticos utilizados en el sector envase.**

Es necesario establecer la cantidad de plástico y de BPL que es utilizado para la elaboración de envases.

##### I. Plásticos convencionales usados en el sector envase

El plástico estándar corresponde al 85% del consumo total de plástico (*PlasticsEurope*). El sector envase supone el 40% del plástico estándar (Siebourg W.2008). Aplicando los porcentajes anteriores los plásticos consumidos para envases son los que figuran en la Tabla 2

## II. BPL utilizados en el sector envase

El porcentaje de BPL destinado en el sector envase está en función de dos factores relacionados entre sí:

- a) El tipo de escenario: A mayor producción de BPL, menor será el porcentaje de aplicación en el sector envase porque sus usos se diversificarán en otros sectores.
- b) Los tipos de BPL: En el futuro se espera, que los BPL de PLA y PHA se utilicen en otros sectores distintos al envase (Monzó F. 2009).

En el año 2010 los porcentajes de BPL usados para envases se han estimado a partir de Shen et al., 2009, Siebourg W. 2009 y Schanssema A. 2008.

En el año 2020 los porcentajes de BPL utilizados en el sector envase se han obtenido a partir de Shen et al., 2009 (Tabla 3).

Los valores de los BPL utilizados para envases en el año 2015, se han obtenido por interpolación de los porcentajes entre el año 2010 y el año 2020.

En definitiva, la cantidad de BPL estimada en el sector envase para cada escenario, queda de la siguiente manera:

**ESCENARIO CB:** El uso de los BPL en otros sectores distintos al envase apenas se incrementa; el crecimiento de los BPL en este escenario es muy pequeño, por este motivo, no se amplía su aplicación en otros campos.

**ESCENARIO CM:** Al producirse mayor cantidad de BPL, se ha estimado que las aplicaciones de los BPL se incrementarán en otros sectores distintos al envase, especialmente para los plásticos de PLA y PHA.

**ESCENARIO CR:** Por el mismo razonamiento que en el caso anterior, las aplicaciones de los BPL en otros sectores distintos al envasado aumentarán. Por ello, el porcentaje de BPL utilizado en el sector envase es menor que en el resto de los escenarios.

A partir de estos porcentajes, se ha obtenido la **cantidad** de BPL (en toneladas) utilizada para la elaboración de envases en cada una de las regiones estudiadas

### **Superficies de cultivo necesarias**

Las superficies de cultivo se han obtenido a partir de la producción estimada anteriormente y del rendimiento actual de los BPL.

Los tipos y los porcentajes de los cultivos utilizados en la actualidad para la obtención de los BPL han servido para establecer la distribución de éstos en el futuro. En algunos casos, se ha considerado otra situación más, diferente a la actual, en función del escenario y la región. Al tratarse de producciones relativamente pequeñas, las empresas no pretenden cambiar las materias primas utilizadas hasta el momento. Por lo tanto, en los casos que se presenten dos distribuciones distintas, la primera (1) se refiere a la distribución actual y la segunda (2), describe la nueva distribución valorada.

### **AÑO 2010**

Los tipos de cultivo empleados y el porcentaje utilizado para la elaboración de los BPL, se mantiene similar a la estimada en el año 2009.

### **AÑO 2015**

En el escenario "CR": En Europa se ha considerado un aumento del uso del maíz para la elaboración de los plásticos de PLA. Debido a que este cultivo es considerado una de las principales materias primas utilizadas en la elaboración de este BPL. En el caso de EE.UU se ha estimado una disminución en el uso del maíz utilizado para este fin. Sin embargo, el empleo de cultivos como la caña de azúcar y la remolacha azucarera aumentará. En el caso de Asia-Pacífico no se ha tenido en cuenta otra distribución distinta a la estimada en la etapa anterior.

### **AÑO 2020**

En los escenarios "CM" y "CR": En Europa se ha seguido considerando la posibilidad de que se produzca un aumento en los cultivos de maíz y trigo.

En Estados Unidos se mantiene la misma distribución de cultivos estimada en la etapa anterior.

En Asia-Pacífico, aparte de mantener la distribución planeada en la etapa anterior, se ha planteado otra distribución más en los escenarios CM y CR. Un aumento de la demanda de yuca para la producción de los BPL de PLA. Se espera que sea uno de los principales cultivos utilizado en la elaboración de este bioplástico.

Desde la tabla 4 hasta la tabla 6, se han calculado las superficies de cultivo necesarias para la obtención de cada tipo de BPL, en función de lo expuesto anteriormente.

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones de los principales hechos y cuestiones planteadas en el estudio son:

La capacidad de producción actual de los BPL (año 2009) es de 643.600 t. Los BPL más importantes en términos de volumen de producción son: los polímeros de almidón (323.000 t) y los de PLA (240.500 t).

En la actualidad, la superficie de cultivo requerida para la elaboración de los BPL se sitúa entre las 200.000 y 215.000 ha.

En la mayoría de los casos, si se comparan las producciones estimadas en cada escenario con las anunciadas por las empresas, se observa que las producciones de las empresas están muy próximas a las desarrolladas en el escenario "CM".

La introducción de los BPL en el mercado de los plásticos estándar es escasa. En el caso del escenario "CM" la producción supone 1% en el año 2020. En el caso del escenario "CR" la inclusión de los BPL en el año 2020, sobrepasa el 2%. Si se compara este resultado con el 5-10% del mercado total de plástico podría ser sustituido por todos los BPL. Es necesario que los BPL desarrollados en el presente estudio evolucionen lo máximo posible, escenario CR, para poder contribuir a la cantidad de BPL instalada en el mercado del plástico.

Las empresas esperan diversificar las aplicaciones de los BPL en otros sectores distintos al envase. Durante el período de estudio se prevé que en el escenario "CM", los envases de plástico sean sustituidos en un 1,1% por los producidos a partir de BPL. En el escenario "CR", los BPL podrán sustituir hasta el 1,5% a los envases de plástico petroquímico. En el año 2020, las tierras de cultivo requeridas para la elaboración de los BPL se estiman en 857.300 y 2.046.000 ha para el escenario "CM" y el escenario "CR" respectivamente (menos del 0,5% y del 1,2% de la superficie total). Para cada zona de estudio se han obtenido los siguientes resultados:

Escenario CM: En Europa, EE.UU y Asia-Pacífico el 0,6%, 0,45% y 0,43% respectivamente, de la superficie agrícola total de los cultivos utilizados en la elaboración de los BPL, se requeriría en este fin.

Escenario CR: El uso de la tierra para la elaboración de los BPL en Europa supone menos del 1,5% de la superficie cultivada. En el caso de EE.UU y Asia-Pacífico, representa un 1% de la superficie cultivada.

Según las previsiones del presente estudio en Europa y EE.UU se va a producir una disminución de las superficies de cultivo. Si éstas, se utilizasen para la elaboración de los BPL, en Europa sólo se debería disponer de unas 55.000 ha de superficie cultivada, es decir, un 0,14% de dicha superficie. En el caso de EE.UU, la superficie abandonada supera la requerida para la elaboración de los BPL, es decir, la disponibilidad de tierras para la producción de BPL no supondría ningún problema.

El incremento que supondría la utilización de los cultivos agrícolas para la elaboración de BPL respecto a los usos habituales, en la mayoría de los casos, sería a un 2%. Este porcentaje tan bajo no motivará el alza de los precios. Sin embargo, en Europa, el consumo de patata y especialmente el consumo de remolacha azucarera, podría alzar el precio de estos

cultivos, sobre todo, si no se incrementa la oferta. Lo mismo ocurriría en la región de Asia-Pacífico con el cultivo de yuca.



## Bibliografía

- Crank M., Patel M.K., Marscheider-Weidemann F., Schleich J., Hüsing B., Angerer G. (2005). *Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-based polymers in Europe*. The Institute for Prospective Technological Studies. 260 pp. Technical Report EUR 22103 EN.
- De Almeida A., Ruiz J.A., López N.I., Petinarri J. (2004). "Bioplásticos: una alternativa ecológica". *Revista QuímicaViva*. N° 3, 122-133 pp. ISSN 1666-7948.
- Hesser M. (2006). "Bioplastics World". The Virtual Factory. 4 pp.
- Monzó F. (2009). "Uso de envases biopoliméricos para la preservación de alimentos". *Biotecnología: innovación para la industria alimentaria*. Centro Tecnológico del Calzado y el Plástico. <<http://www.ifrm-murcia.es/documentos/biotecnologia/CETEC.pdf>>.
- Paternostre L. (2007). *A Greener Chemistry for Industry*. Nature for Innovative and Sustainable Solutions (NATISS). <<http://www.ensc-lille.fr/actu/GCI/paternostre.pdf>>.
- PlasticsEurope. (2009). *Plastics industry's view on: plastic products made of "bioplastics"*. 7 pp.
- Shen L., Haufe J., Patel M.K. (2009). *Product overview and market projection of emerging bio-based plastics (PRO-BIP)*. Group Science, Technology and Society (STS), Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation Utrecht University. 243 pp.
- Siebourg W., Schanssema A. (2008). *Plastics and Renewable Resources- A Life Cycle Perspective*. PlasticsEurope. <[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/wg\\_7\\_8fer08/04schanssema\\_biobased\\_polymers\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/wg_7_8fer08/04schanssema_biobased_polymers_en.pdf)>.
- Sriroth K., Chollakup R., Piyachomkwan K., Oates C.G. *Biodegradable plastics form cassava starch in Thailand*. 538-553pp.<[http://innovationafrica.net/webciat/asia\\_cassava/pdf/proceedings\\_workshop\\_00/538.pdf](http://innovationafrica.net/webciat/asia_cassava/pdf/proceedings_workshop_00/538.pdf)>.
- Theinsathid P., Chandrachai A., Keeratipibul S. (2009). "Managing Bioplastics Business Innovation in Start Up Phase". *Journal of Technology Management & innovation*. Vol. 4, N° 1, 82-93 pp. ISSN: 0718-2724.
- Zhuan C. (2008). *Biomaterials of high-tech industrialization in China*. Chinese Society of Biotechnology Tsinghua University Beijing. <<http://ics.trieste.it/media/138741/df5969.pdf>>.



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Revista **QuímicaViva**

Número 3, año 9, Diciembre 2010

[quimicaviva@qb.fcen.uba.ar](mailto:quimicaviva@qb.fcen.uba.ar)

## **Sobre las bibliotecas y los bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología.**

**Mónica Beatriz Pérez**

Instituto Leloir, Biblioteca Cardini, Av. Patricias Argentinas 435, C1405BWE, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

E-mail: [mbperez@leloir.org.ar](mailto:mbperez@leloir.org.ar)

Recibido: 17/09/2010

Aceptado: 13/10/2010

### **Resumen**

Este artículo revisa las características actuales de las bibliotecas y bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología. Se analiza el concepto de que las bibliotecas especializadas tradicionales, como espacios físicos donde encontrar información están cediendo a la creación de nuevas actividades y servicios. Se describe el impacto que ejercen en ellas y sus bibliotecarios la Era de la Información y las Tecnologías de la Información y Comunicación, presentando ejemplos de nuevos servicios: análisis bibliométrico, liderazgo de proyectos de bibliotecas y repositorios institucionales digitales, asesoramiento y colaboración en el auto-archivado respetando las diferentes modalidades de edición y licencias de las publicaciones, entre otros.

**Palabras clave:** bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología, bibliotecas especializadas, competencia profesional, gestión de la información, tecnologías de la información y comunicación.

### **About science and technology libraries and librarians.**

#### **Summary**

This article reviews the current characteristics of science and technology libraries and librarians. I analyze the concept that science and technology libraries as physical spaces where to find information is giving in to the development of new activities and services. The impact that Information Age and Information and Communication Technologies have on libraries and librarians is described by presenting examples of new services: bibliometrics, leadership of digital libraries and institutional repositories, advice and collaboration in self-archiving observing different methods of publishing and licensing.

**Keywords:** science and technology librarians, medical librarians, special libraries, professional competence, information management, Information and Communication Technologies.

En un mundo centrado en la información digital, la biblioteca especializada en ciencia y tecnología tradicional como espacio físico donde hallar información está dejando de ser sustentable, dando paso a un escenario de interacción personal presencial y virtual con la creación de actividades y servicios que faciliten a investigadores, médicos, académicos, becarios y alumnos lidiar exitosamente con la abrumadora cantidad de información actual.

Estas nuevas necesidades de usuarios e instituciones requieren del bibliotecario especializado habilidades y competencias cada vez más diversas: provisión de múltiples y variados recursos y documentos electrónicos, colaboración y creación de nuevas redes de información, desarrollo de la colección y recursos bibliográficos digitales y en línea, análisis bibliométrico de investigadores y académicos, liderazgo de proyectos de bibliotecas digitales (*BDs*) y repositorios institucionales digitales (*RIDs*), entre muchas otras.

Los científicos y médicos no están aún en condiciones de prescindir de las bibliotecas, y tal vez nunca lo estén, mientras ellas encuentren la forma de interpretar y acompañar los cambios sociales y tecnológicos en materia de información. El rol actual de las bibliotecas y bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología está comprometido en diseñar planes estratégicos que le aseguren a la organización y sus miembros lidiar satisfactoriamente con el caos que representa el exceso de información en Internet.

### **Comencemos por lo primero**

Suele creerse que todas las bibliotecas son igual, por ello, antes de centrarnos en la biblioteca de ciencia y tecnología, resulta pertinente desarrollar algunos conceptos vinculados a su tipología.

Las bibliotecas pueden clasificarse de acuerdo con diferentes criterios: el tipo de material que integra su colección, la disciplina que aborda, el perfil de su usuario y los servicios que ofrece, entre otros.

Un intento muy simple, pero generalizado, es agrupar a las bibliotecas en seis grandes categorías: nacional, universitaria, especial, escolar, pública o popular y especializada, y a partir de allí formular las combinaciones necesarias: una biblioteca parlamentaria puede ser además académica, de investigación y pública; las bibliotecas universitarias o académicas pueden clasificar a su vez como especializadas o de investigación, pero es importante aclarar que siendo sus usuarios directos los estudiantes y docentes universitarios, su colección se desarrollará teniendo en cuenta los planes y programas de estudio que aseguren el objetivo institucional de la formación académica, condición no siempre fundamental para las bibliotecas especializadas.

El tesauro de Unesco define a la biblioteca especializada basándose en la disciplina específica o ámbito concreto en que se desarrolla. Suelen depender de empresas, sociedades, organizaciones e instituciones que requieren información y literatura profesional muy especializada y actualizada, por lo que muchas veces se convierten en verdaderos centros de documentación: *una biblioteca especializada ofrece servicios de información especializados a usuarios especializados*. Por consiguiente, su bibliotecario debe sumar, a las habilidades y

destrezas propias de su profesión, un conocimiento especial en la materia que cubre sus fondos bibliográficos y del perfil de sus usuarios.

Su aparición es relativamente reciente, adquiriendo más fuerza a partir de la segunda mitad del siglo XX como resultado de la explosión de la información y de la especialización como valor social. Estados Unidos fue pionero en la creación de sociedades de bibliotecas especializadas. La SLA (*Special Libraries Association*) fue creada en el año 1909 y quince años más tarde inauguraba la división de *Ciencia y Tecnología* bajo el nombre de *Grupo Tecnológico*. Casi al mismo tiempo, en el año 1932, se fundaba la ARL (*Association of Research Libraries*).

La IFLA cuenta con trece grandes secciones: bibliotecas académicas y de investigación, de arte, gubernamentales, de ciencias biológicas y de la salud, legislativas, para personas con dificultades con impresos, parlamentarias, municipales, nacionales, públicas, escolares, de ciencias sociales y de ciencia y tecnología. Esta última sección reúne a las bibliotecas especializadas en la recopilación y el acceso a la información sobre ciencias físicas y tecnología, a los usuarios en la ciencia y los departamentos de tecnología de las bibliotecas nacionales, universitarias, politécnicas, públicas, de empresas, y las bibliotecas de investigación del gobierno.

...y he aquí el dilema, ¿qué temas incluye una biblioteca especializada en ciencia y tecnología? Tomemos un ejemplo: la Biblioteca Electrónica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina organiza sus recursos de información en cinco grandes áreas temáticas: *ciencias biológicas y de la salud, ciencias agrarias y ambientales, ciencias exactas, de la tierra e ingenierías, ciencias sociales y humanas, y lingüística, letras y arte*. Al abarcar todas las áreas del conocimiento vemos con un solo ejemplo la dificultad de unificar el cuerpo de disciplinas que una biblioteca especializada en ciencia y tecnología debe comprender.

En este trabajo me ocuparé de las características de las bibliotecas especializadas en ciencia y tecnología vinculadas a las áreas de ciencias físicas (astronomía, ciencias del ambiente, ciencias de la tierra, física, matemática y química), ciencias de la vida (biología, medicina y biociencias) y tecnología (ingeniería y ciencias de la computación e información y biotecnología), puesto que los estudios de usuarios provenientes de estas disciplinas resultan en la descripción de perfiles similares (buscar, reunir, crear y compartir información como parte del proceso de investigación), con bibliotecas con características comunes en sus servicios.

No obstante, me parece necesario aclarar que siendo médica y bibliotecaria, mi desarrollo profesional está ligado a las áreas de ciencias biológicas y de la salud, por lo que los conceptos que desarrollo en este trabajo son aún más característicos de este tipo de bibliotecas.

### **Internet, la quintaesencia tecnológica**

Formamos parte de la Sociedad de la Información o del Conocimiento, basada en el consumo y creación de información electrónica a través de las nuevas TICs (informática, Internet y telecomunicaciones): desde la aparición de la radio y televisión hasta la Web 2.0, los medios de comunicación de masas cambian constantemente la forma en que la sociedad interactúa y se comunica.

Este tipo de sociedad está muy influenciada por los avances de la ciencia, la tecnología y la biotecnología, por un lado, y por la globalización de una cultura y economía tecnoinformatizadas, por el otro. Su materia prima, la información, crece en forma tan abrumadora como su valor de mercado, y las herramientas tecnológicas presentes en su procesamiento y creación resultan en productos de información cada vez más integrados, útiles y atractivos.

Internet, con sus cuarenta años de existencia, ha logrado cambiar en la sociedad desde los hábitos más simples hasta los más complejos. Su impacto está dado en parte por la facilidad de intercomunicarnos y de obtener en forma libre e inmediata tanta información como tiempo estemos dispuestos a brindar. Mientras estamos conectados a Internet, los límites entre trabajo y ocio se esfuman.

Es interesante observar el fenómeno llamado "Generación Google", "media-rich culture", generación en red, nativos digitales o *millennials*, que se aplica a los adolescentes que han crecido en un mundo dominado por Internet y Google, el buscador más popular. Se trata de una generación con diferentes aptitudes, actitudes, expectativas, formas de comunicarse y de informarse, independientes y con pensamiento tecno-creativo. Su conducta hacia la búsqueda de información se caracteriza por ser más horizontal, por un intenso uso de la serendipia y "picoteo" de información, chequeando rápidamente los temas sin profundizar en ellos. Visuales por naturaleza, representan un cambio substancial en la forma de manejar información, no se limitan a consumirla sino que generan grandes cantidades de contenidos editados electrónicamente, borrando los límites tradicionales entre consumidores y productores de información, enseñanza y aprendizaje, comunicación y acceso a la información.

Participan activamente de la Web 2.0. Un estudio reciente llevado a cabo con adolescentes norteamericanos demostró que el 80% del tiempo que pasan en Internet lo hacen a través de las redes sociales, lo que equivale a 1 hora y 50 minutos de las 2 horas y 20 minutos promedio al día que dedican a Internet. Antes de que nos demos cuenta, serán profesionales que exigirán acceder a información provista por las bibliotecas de la misma forma intuitiva y creativa que lo hacen en Google.

Como respuesta a estos cambios tecnológicos propiciados por Google y la Web social, las bibliotecas incorporaron a partir del año 2005 el término "biblioteca 2.0" en un intento de diseñar servicios dirigidos para y junto a los usuarios a través de gestores de contenidos: editan contenidos en blogs como *WordPress* y wikis como *MediaWiki*, comparten información y opiniones en foros y marcadores sociales como *Delicious* y *Connotea*, crean y difunden recursos bibliográficos en plataformas como *Scribd* o *Issuu*, o multimediales en *Plickr* o *YouTube*, y de texto o cálculo con *Google Docs*, sindicando contenidos de noticias en *Netvibes*,

participan en *microblogs* como *Twitter* o *Facebook* y de redes profesionales en *LinkedIn*, disponen de un OPAC 2.0 para promocionar los catálogos de la biblioteca sindicando las novedades del catálogo permitiendo la inserción de reseñas y opiniones a través de guías sociales como *Librarything*.

Este cambio de la relación usuario-información se ha profundizado aún más en las últimas dos décadas y exige que las bibliotecas especializadas en ciencia y tecnología se anticipen a próximas demandas. "Cambiar o perecer" es uno de los lemas favoritos de las bibliotecas ¿Por qué justamente ahora tendría que ser diferente?

Lo admito, las bibliotecas especializadas no necesariamente son el comienzo y fin en las etapas de búsqueda y recuperación de información por parte de los científicos y médicos, pero entre otros aspectos que detallaré más adelante, como no toda la información especializada está ni estará accesible en forma gratuita por Internet, es absurdo pensar que reemplazará a las bibliotecas, ambas conviven en equilibrio, se complementan pero no compiten. Infinidad de publicaciones científicas y datos provenientes de recursos especializados requieren de costos elevados que las bibliotecas mantienen, por lo que hoy dedicamos nuestra mayor parte del tiempo en trabajar en proyectos que nos permiten brindar servicios de información especializados a nuestros usuarios y organizaciones utilizando todo tipo de recursos a nuestro alcance, nada queda afuera. Las bibliotecas actuales son verdaderos híbridos donde conviven recursos impresos, digitales, online y servicios de información según demanda o "a la carta" y cumplirán su función si son capaces de llevar estos servicios al investigador, académico o estudiante hasta su casa, laboratorio o donde se encuentre de manera eficiente y oportuna, a través de sus catálogos, bases de datos, bibliotecas digitales, virtuales o intranets, todos ellos integrados y accesibles por herramientas de búsqueda amigables e intuitivas.

### **El espacio físico**

Las bibliotecas no son obsoletas, siempre se adaptan a los cambios. La biblioteca especializada en ciencia y tecnología tradicional como espacio físico donde encontrar información, con sus sectores de referencia, circulación y colección impresa clásica está dejando de ser sustentable, evolucionando hacia la creación de nuevas actividades y servicios. Sus salones, antes depósitos de extensas estanterías con libros, series, revistas, manuales, tesis, y material de referencia se están transformando en espacios amplios y confortables donde interactuar, intercambiar ideas, reunirse, enseñar, estudiar y trabajar con el ordenador. Los médicos, investigadores y becarios demandan estaciones de trabajo, salas de lectura, de usos múltiples para reuniones de laboratorio, seguimiento de tesis, videoconferencias, clases de idiomas y posibilidad de conectarse desde cualquier parte de sus instalaciones a través de redes locales o *wi-fi*. Un espacio ideal donde exhibir artefactos y material bibliográfico perteneciente a la memoria histórica y cultural de la institución. Un lugar adecuado para realizar entrevistas, notas periodísticas, exhibiciones de arte, proyección de ciclos de películas, documentales, series y videos sobre ciencia y tecnología y otras actividades sociales y

culturales no exentas de charlas y café. Le planteo una pregunta ¿le sorprendería encontrarse en una biblioteca especializada en ciencia y tecnología con becarios o investigadores jugando al go o al ajedrez? Apreciaría un no como respuesta.

Estamos acostumbrados a leer profecías sobre la desaparición de los libros y revistas impresas. La marcada preferencia de los científicos por las publicaciones electrónicas en detrimento de las impresas no implica que estas últimas “siempre estén de más”. El bibliotecario especializado deberá asesorar a la institución sobre la forma paulatina y racional de ir transformando la colección impresa en otra de acceso electrónico, sin adelantarse equívocamente a los tiempos, apoyado en lo que hacen otras bibliotecas del mismo tipo en el resto del mundo y su entorno más cercano, y fundamentalmente basado en los resultados de encuestas, entrevistas y otros estudios de usuarios de su propia institución. La historia reciente demuestra que a medida que nuevas tecnologías de la información y comunicación van apareciendo, cada una de ellas va encontrando su propio espacio, la radio vive a pesar de la televisión, la gente se comunica por teléfono tanto como por e-mail, ordenador o dispositivo móvil más novedoso y los cines están cada vez más atestados de gente, muy lejos de los pronósticos que avecinaban su muerte ante el surgimiento del video.

### **El usuario**

Los usuarios de bibliotecas en ciencia y tecnología son expertos cualificados que habitualmente necesitan información para los trabajos de investigación o asistenciales que realizan dentro de la institución. Las preferencias de científicos, médicos, becarios y técnicos con elevada formación y especialización, se centran en la rápida obtención de artículos de revistas científicas, libros, tesis, informes, actas de congresos, protocolos y técnicas, siendo la biblioteca una herramienta de trabajo más.

Exigentes y precisos para formular sus necesidades de información, realizan las búsquedas en bases de datos bibliográficas especializadas. Me detendré sobre este concepto ya que en él se halla una de las principales diferencias en el perfil de usuarios entre médicos y científicos. Los científicos realizan si no todo, gran parte de su trabajo en el ordenador, es su herramienta cotidiana y su trabajo comienza y finaliza en las publicaciones; de hecho, cuando se habla de producción científica se está haciendo referencia a las publicaciones científicas. Esta estrecha relación con las publicaciones y el ordenador resulta en conductas de información independientes; suelen preferir los alertas automáticos de las bases de datos y las tablas de contenido de revistas más prestigiosas que ellos mismos seleccionan, a delegar las búsquedas en el bibliotecario. Sus perfiles de alerta están delimitados por unos pocos descriptores o palabras claves que describen con precisión su tema de investigación. Esta es una de las razones por lo que la mayoría de los artículos que solicitan los científicos entra dentro del tipo “*online advance publication*”, mientras que los médicos necesitan por igual artículos retrospectivos. Por otra parte, los médicos trabajan la mayor parte del día en tareas asistenciales; así, cada paciente, su patología, tratamiento y evolución puede generar una nueva y particular necesidad de información, que delegan en el bibliotecario especializado por



falta de tiempo, confiando en su experiencia para formular complejas y precisas estrategias de búsqueda en todas las bases de datos bibliográficas a su alcance.

A partir de la última década se observa el modelo editorial “*open access*” o “acceso libre” y que impacta en los servicios de las bibliotecas. En el año 2001 el *Open Society Institute* fundó las bases de este nuevo modelo para el acceso libre a la información científica a través de la declaración de principios de la *Budapest Open Access Initiative (OAI)*, con el propósito de acelerar el progreso a través de la participación internacional de científicos y editores hacia un tipo de publicación que permitiera el libre acceso a través de Internet de las publicaciones científicas en todos los campos. Los lectores estarían autorizados a acceder gratuitamente al texto completo de los artículos científicos y además a copiar y reutilizar el contenido con la única condición de citar la fuente original. Esta nueva forma de declaración de principios y licencia va evolucionando constantemente, abriendo nuevas posibilidades de acceso libre a las publicaciones científicas y de edición de sus artículos. Un ejemplo de este proceso es *PLoS Biology*, una de las primeras y más prestigiosas publicaciones aparecidas bajo esta modalidad, editada por la *Public Library of Science (PLoS)* en el año 2003. Desde entonces, *PLoS Biology* ha evolucionado de un prototipo de publicación electrónica de acceso libre que emulaba al impreso, a un modelo en el que importa tanto el acceso libre al texto completo del artículo como a los datos en bruto de la investigación sobre los que se basan sus conclusiones, así como a las discusiones que mantuvieron los autores durante el desarrollo de su investigación, incluyendo opiniones de los lectores con enlaces a *wikis* y *blogs*, incorporando así nuevas formas de revisión por pares.

Esta forma de producción, disseminación y uso de las publicaciones científicas y técnicas impacta fuertemente en los procesos de enseñanza, aprendizaje, investigación y en los servicios de la biblioteca hacia su comunidad. Hasta no hace tantos años, las demandas de información a las que los bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología estábamos acostumbrados estaban vinculadas principalmente a la colección propia de cada biblioteca. “¿Tenemos esta publicación en la biblioteca?” era la forma corriente en la que los científicos y médicos formulaban su necesidad de información; si la respuesta era un “no”, el bibliotecario trataba de localizarla a través de catálogos colectivos de otras bibliotecas, generalmente cercanas a su institución y, si a partir de allí la respuesta pasaba a un “está en tal o cual biblioteca”, tanto bibliotecario como usuario sentían que la biblioteca había logrado casi un imposible.

A través de *Internet*, hoy los científicos y médicos pueden acceder al texto completo de buena parte de las publicaciones, ya sean de acceso libre o de colecciones suscriptas por su biblioteca o biblioteca electrónica especializada, por rango de IP o reverso institucional. Esto hace que el investigador no repare en solicitar aquello que se tiene sino lo que necesita, y esto significa cualquier publicación que Internet no le permita bajar en forma directa. El resultado es una incesante demanda de artículos provenientes de las más diversas publicaciones que el especialista en información deberá conseguir con conocimiento, experiencia y creatividad.



### **El bibliotecario especializado en ciencia y tecnología - *science and technology librarian o medical librarian***

Contenido y continente, la información y el libro como artefacto tecnológico evolucionan sin solución de continuidad y en estos cambios, los bibliotecarios necesitan ir capacitándose en el qué y cómo de la información y sus tecnologías.

Durante este proceso, la bibliotecología fue adoptando para sí el término “ciencia de la información”, y las bibliotecas se identifican hoy más como centros de comunicación y acceso a la información, que como lugares de almacenado del conocimiento. Creo que la gente, aún del entorno cercano y cotidiano, no llega a comprender con claridad las tareas del bibliotecario especializado, asociando todavía su figura con la del custodio y organizador de libros y revistas, preguntándose qué son, qué hacen en la actualidad y, en algunos casos, cómo podrán subsistir dentro de su organización en la era de la información digital. Tal vez ayude un cambio de nombre de la profesión, que permita redefinir los nuevos roles que el bibliotecario va adquiriendo a través de la gestión electrónica de la información y los servicios que esta posibilita.

El bibliotecario especializado se preocupa hoy por observar las preferencias y formas a través de las cuales todos los sectores de la organización y sus miembros acceden a la información y administran su propio conocimiento, respondiendo con los servicios que las tecnologías van posibilitando. Entre las tecnologías y procedimientos que más han impactado en las bibliotecas a partir de la segunda mitad del siglo XX se pueden destacar: las computadoras personales y soportes de almacenamiento, digitalización, multimedia, sistemas integrados de bibliotecas, normas de catalogación AACR / AACR2R / RDA, catalogación automática, catálogos públicos en línea – *OPACS*, formato MARC, gestión de metadatos y etiquetas, publicaciones electrónicas, *www*, Internet y protocolos ECT/IP, FTP, acceso libre en línea a PubMed y otras bases de datos bibliográficas con enlaces al texto completo, acceso por IP a intranets, bibliotecas y repositorios institucionales digitales, acceso abierto y otras formas nuevas de edición y licencias, nuevos canales y estilos de comunicación (teléfono, email, online, videos, podcasts), *wi-fi*, redes sociales web, gestores de contenido y plataformas de enseñanza en línea – *e-learning*.

Finalizaré mi trabajo mencionando algunas de las habilidades y competencias propias del bibliotecario especializado en ciencia y tecnología, que sumadas a las ya clásicas de desarrollo de las colecciones impresas y electrónicas (selección y adquisición, entre otras), procesos técnicos (catalogación, clasificación e indización) y referencia especializada resultan en un perfil profesional proteiforme, muy alejado del estereotipo tan difundido en el pasado.

## Competencias y habilidades

### ➤ Tecnologías y procesamiento de la información

- *Repositorios Digitales Institucionales (RIDs)*. En un mundo globalizado y en el que la gente avanza rápidamente hacia la interacción con contenidos en formato digital, se irá haciendo más notoria la preferencia de todos hacia esa forma de gestión de la información, por lo que las bibliotecas especializadas tienen hoy la oportunidad de contribuir con la creación de servicios de digitalización y archivado en repositorios digitales institucionales para los documentos impresos, digitales y recursos multimedia que los investigadores y la organización producen y que les es propio, con fines de acceso y preservación. Esto lleva a un cambio de cultura en la organización pues permite captar y compartir el conocimiento generado por la propia gente dentro de la institución, impidiendo que este se pierda con el paso del tiempo, por el deterioro físico del documento, o por la desvinculación de su personal con la empresa.
- *Bibliotecas Digitales*. Debe balancear habilidades teóricas y prácticas en el manejo de las actuales tecnologías digitales, sus estándares y formatos (OAI-PMH, XML, etc.), esquemas de metadatos con énfasis en la preservación a largo plazo, herramientas de software libre y propietario, así como conocimientos en diseño web y sus aplicaciones, recuperación de la información, desarrollo de bases de datos y sistemas de gestión y todo tipo de tecnologías de la información adecuadas para diseminar información, conectando el catálogo en línea a servicios de provisión de documentos u otros adecuados a su biblioteca digital o virtual.
- *Taxonomías y control semántico especializado*. Trabaja en la creación de listas de encabezamientos de materias o tesauros altamente especializados imprescindibles en la indización de sus bases de datos.
- *Políticas y procedimientos*: diseña, analiza y documenta los procesos llevados a cabo en la biblioteca para su implementación, estadística y continuidad a través del tiempo.

### ➤ Gestión

- *Análisis bibliométrico* para la evaluación y toma de decisiones. Crea listados de la producción científica de la institución y sus investigadores para con ellos confeccionar los indicadores bibliométricos básicos en base a información relevada de las bases de datos especializadas Scopus, Web of Science, Journal Citation Report o cualquier otra accesible y pertinaz. Para obtener datos confiables, el bibliotecario debe conocer los alcances, fortalezas y debilidades de cada base, completar información faltante y corregir errores en general vinculados a problemas de identidad de autores e instituciones.
- *Identificadores únicos y control de autoridad de bases de datos*: asiste a usuarios e institución en la corrección de errores de identidad de autor y filiación de las bases especializadas.

- *Redes de información cooperativas* que amplíen las posibilidades de acceso a la información, permitiendo compartir y optimizar recursos. El bibliotecario debe colaborar con las redes ya existentes procurando crear nuevas que le permitan aliarse estratégicamente con otros profesionales e instituciones con intereses similares.
  - *Boletines de novedades, de resúmenes y difusión selectiva de la información (DDS)*: envía regular y periódicamente información acorde al perfil personal del usuario, para mantenerlo al día sobre los temas de su interés.
  - *E-learning*: apoya la enseñanza y aprendizaje a través de la colaboración y asistencia en clases multimediales, webinarios y seminarios en línea,
- Referencia y desarrollo de la colección y recursos de información
- *Referencia especializada*.
  - *Experto en búsqueda y análisis documental* en bases de datos bibliográficas especializadas y sitios web autorizados.
  - *Negocia con editoriales e instituciones* la selección y adquisición de publicaciones y recursos de información.
  - *Desarrollo de la colección*: evalúa la evolución de las diferentes colecciones y recursos de información, impresas o en cualquier otro formato según un plan de selección, adquisición y descarte, acorde a las necesidades.
  - *Formación de usuarios*: introduce nuevos servicios y recursos a través de clases, tutoriales y demostraciones.
  - *Derechos de autor y modalidades de edición y licencias de las publicaciones*: asesora y colabora con la organización e investigadores en temas relacionados.
  - *Estudios de usuarios*: diseña y pone en marcha encuestas y estadísticas para la creación de nuevos servicios y mejora de los actuales.
- Personales
- Capacitación constante e innovadora y predisposición al trabajo en equipo, compartiendo con él los conocimientos y habilidades adquiridas.
  - Habilidades orales y escritas de buen comunicador, con actitud proactiva hacia nuevos desafíos y tendencias, procurando conocer personalmente a sus usuarios para detectar nuevas demandas.

Los bibliotecarios especializados en ciencia y tecnología nos encontramos hoy redefiniendo y reevaluando nuestra profesión pero con la misma misión de siempre: facilitar a estudiantes, investigadores, médicos y organizaciones, toda actividad vinculada a la gestión de información que les simplifique y allane su trabajo. Nuestra tarea continuará cumpliéndose siempre que nuestros usuarios sigan identificándonos como uno de los referentes naturales a la hora de necesitar asistencia para el acceso, uso y gestión de información.

## Bibliografía

- ACRL Research Planning and Review Committee, 2010. 2010 top ten trends in academic libraries. *C&RL News*: 286-292.
- Allendez Sullivan PM, 2004. El impacto de las nuevas tecnologías en la competencia laboral del bibliotecario del siglo XXI. *Biblios* 5:25-35.
- British Library, Joint Information Systems Committee. Information behaviour of the researcher of the future. London: JISC, 2008.
- Bueno Vieira GJ. Impacto tecnológico y arquitectura en bibliotecas. 1ª. ed. español. Buenos Aires: Alfagrama, 2006.
- Godwin P, Parker J (eds.). Information literacy meets library 2.0. London: Facet Publishing, 2008.
- Grefsheim SF, Rankin JA, 2007. Information needs and information seeking in a biomedical research setting: a study of scientist and science administrators. *J Med Libr Assoc.* 95:426-434. DOI: 10.3163/1536-5050,95,4,426
- Haines LL, Light J, O'Malley D, Delwiche FA, 2010. Information-seeking behavior of basic science researchers: implications for library services. *J Med Libr Assoc.* 98:73-81. DOI: 10.3163/1536-5050.98.1.019
- Hemminger BM, Lu D, Vaughan KTL, Adams SJ, 2007. Information seeking behavior of academic scientists. *J Am Soc Inf Sci Technol.* 58:2205-2225. DOI: 10.1002/asi.20686
- Hinman H, Williams JF. Study of 21<sup>st</sup> Century librarianship initiatives: consultant report. Sacramento, CA: Library Services and Technology, California State Library, 2002.
- Persily GL, Butter KA, 2010. Reinvisioning and redesigning "a library for the fifteenth through twenty-first centuries": a case study on loss of space from the Library and Center for Knowledge Management, University of California, San Francisco. *J Med Libr Assoc.* 98:44-48. DOI: 10.3163/1536-5050.98.1.015
- Pinto M, Fernández Marcial V, Gómez Camarero C, 2010. The impact of information behavior in academic library service quality: a case study of the science and technology area in Spain. *J Acad Librarianship.* 36:70-78.
- Rankin JA, Grefsheim SF, Canto CC, 2008. The emerging informationist specialty: a systematic review of the literature. *J Med Libr Assoc.* 96:194-206. DOI: 10.3163/1536-5050.96.3.005



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Revista **QuímicaViva**

Número 3, año 9, Diciembre 2010

[quimicaviva@qb.fcen.uba.ar](mailto:quimicaviva@qb.fcen.uba.ar)