

Propuesta de cepillo dental anatómico con base biodegradable

Proposal of anatomical brush with biodegradable base

¹Yenny Alarcon Perez^a, ²Hilda de las M. Oquendo Ferrer^a, ²Pablo Galindo Llanes^b

RESUMEN

El trabajo se realiza en la Empresa CEPIL de Ciego de Ávila. Se propone la sustitución de la base del cepillo anatómico por una biodegradable, con un bioplástico que garantice la conservación del medio ambiente y que responda a las posibilidades de Cuba, como parte del proceso de certificación de su Sistema Ambiental.

De los materiales biodegradables considerados como candidatos, se seleccionó el ácido poliláctico (PLA) y dentro de éste Ecrossbio 650, por tener características similares a la resina plástica que hoy se emplea. El costo del cepillo plástico es 21776.4 USD y el del cepillo biodegradable es 29035.2 USD. Aunque es más costoso es necesario para disminuir la contaminación ambiental. Se evita el lanzamiento al ambiente de alrededor de 5 Kg por persona, que nunca se degradan, lo que representa para el caso de Cuba, aproximadamente en 70 años, 55000 t de residuos no degradables.

Palabras clave: cepillo anatómico, bioplástico, medio ambiente, material biodegradable

ABSTRACT

The work is carried out in the CEPIL Company of Ciego de Ávila. It is proposed to replace the base of the anatomical brush with a biodegradable one, with a bioplastic that guarantees the conservation of the environment and that responds to the possibilities of Cuba, as part of the certification process of its Environmental System.

Of the biodegradable materials considered as candidates, polylactic acid (PLA) was selected and within this the ErcrosBio® LL 650, having characteristics similar to the plastic resin that is used today. The cost of the plastic brush is 21776.4 USD and that of the biodegradable brush is 29035.2 USD. Although it is more expensive, it is necessary to reduce environmental pollution. It avoids the release to the environment of around 5 Kg per person, which never degrade, which represents for the case of Cuba, approximately in 70 years, 55,000 t of non-degradable waste.

Keywords: anatomical brush, bioplastic, environment, biodegradable material

¹ Empresa de cepillos y artículos plásticos, ² Universidad de Camagüey.

^a Ing. Industrial, ^b Ing. Química

INTRODUCCIÓN

En el mundo aumenta aceleradamente el uso de los plásticos, debido a su valor de uso y bajo costo de fabricación.

Esta ventaja, se convierte también en una desventaja y hace que algunos sean desechables después de su uso por una sola vez. Cada año, a los océanos van a parar hasta 12,7 millones de toneladas de desechos, el 49 por ciento de ellos, artículos plásticos de un solo uso y el 27 por ciento avíos de pescas, también de material plástico. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente, 2019) la contaminación por plásticos está presente en todas partes y "asciende por la cadena alimentaria hasta llega a nuestra mesa".

La estructura polimérica del plástico tiene la ventaja de hacerlo muy duradero y resistente, pero tiene el inconveniente de ser muy poco biodegradable. En los últimos 60 años se han tirado a la basura más de mil millones de toneladas de plástico que tardarán siglos en degradarse de forma natural.

Es importante conseguir plásticos biocompatibles y biodegradables para reducir el impacto ambiental. Se han reportado resultados de la investigación en este campo y se han diseñado algunos plásticos biodegradables como los poliláctida, los poliglicólicos o policaprolactona.

El bioplástico emite entre 0,8 y 3,2 toneladas menos de dióxido de carbono

por tonelada, que el plástico derivado del petróleo, que constituye su tercera aplicación y al año se consumen más 200 millones de toneladas en el planeta, que pueden tardar hasta más de 1000 años en descomponerse. (Tsan & Jeon, 2019). Además, los residuos que generan los plásticos que se desechan y llegan a los océanos, son responsables de la muerte de especies marinas y aves que las ingieren (ballenas, tortugas marinas, albatros, entre otros), y suponen un problema grave para el medio ambiente (E., 2006).

La Empresa CEPIL produce productos plásticos y por tanto es generadora de altos volúmenes de residuos plásticos. La empresa utiliza una amplia gama de polímeros los cuales tienen un tiempo de descomposición muy alta o no se pueden entregar a la empresa recaudadora de materias primas debido a que se contaminan o no se pueden reciclar por su composición.

El reciclaje en Cuba está muy incipiente sin embargo es muy necesario, por cada dos toneladas de plástico que se recicla, se ahorra una tonelada de petróleo, se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono y otros químicos al ambiente. (Rodríguez, Pérez, & Velázquez, 2015).

En estos momentos la empresa está inmersa en la certificación de un sistema de gestión ambiental por lo que se deben mantener producciones con materiales más amigables con al medio ambiente, siendo una necesidad en la empresa comenzar a cambiar los plásticos por materiales biodegradables, iniciando por

los volúmenes de producción más altos, siendo el caso de los cepillos dentales.

Se propone para iniciar este proceso, la sustitución de la base del cepillo anatómico, por una biodegradable, a través de una búsqueda de un bioplástico que garantice la conservación del medio ambiente y que respondan a las posibilidades reales de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la sustitución de un material plástico por uno similar biodegradable primeramente se deben seguir los siguientes pasos.

- Análisis de las características, usos, ventajas y desventajas de los plásticos para buscar un material que satisfaga estos requisitos.
- Evaluación y selección del material biodegradable a utilizar en la fabricación de cepillos dentales.
- Cálculo de las normas de consumo.
- Evaluación económica
- Los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor resultan bastante resistentes a la degradación y, a la vez, son livianos. De este modo, los plásticos pueden emplearse para fabricar una amplia gama de productos.
- Los plásticos poseen las siguientes propiedades (De la Torre, 2019):
 - Fáciles de trabajar y moldear.
 - Tienen un bajo costo de producción.
 - Poseen baja densidad.

- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Aceptables aislantes acústicos.
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas,
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.

Estas propiedades lo hacen altamente demandados, y estas mismas ventajas lo hace no degradable y altamente contaminante.

Según Sánchez (2015) las principales fuentes generadoras de residuos plásticos en Cuba provienen de los siguientes lugares:

Consumo doméstico de la población relacionados con productos comercializados en envases plásticos que se distribuyen a través de la red de comercio nacional.

Consumo de productos contenidos en envases plásticos por parte de las industrias, entidades recreativas y del turismo.

Bienes elaborados a partir de materiales plásticos que han llegado al final de su vida útil (equipos, aparatos electrónicos, muebles, etc.)

Desmantelamientos y reparaciones de edificaciones.

Desmantelamientos de medios de transporte.

Residuos de las industrias que emplean materiales plásticos en sus producciones

Otra consideración importante, tiene que ver con la generación de residuos sólidos

por habitantes en un país como Cuba.

Se considera que la generación per cápita de residuos sólidos para este tipo de países en vías de desarrollo va desde 0,4 a 1kg por lo que Cuba con una población promedio de 11 167 325 habitante, podría estar generando diariamente unas 7 817 toneladas de residuos sólidos urbanos y unas 78 toneladas diarias de residuos plásticos.(Sánchez, 2015)

Los últimos estudios realizados en Cuba plantean una generación diaria de 4000 toneladas, para un promedio de 0,5 kg por habitante cada día, con la siguiente composición en Ciudad de La Habana: residuos orgánicos (59,45 %), papel y cartón (20,34 %), vidrio (3,62 %), metales (6,23 %), plástico (1,68 %), textiles (3,36 %), madera (0,6 %), cuero y hueso (0,44 %) y otros (3,19 %)(Moran, 2018).

Analizar las características de los materiales biodegradables existentes en el mercado.

El concepto biodegradable se aplica a los elementos que son capaces de descomponerse en un plazo relativamente corto, convirtiéndose en alimento para el planeta, siempre que se den las circunstancias ambientales indicadas. (Redondo, 2018).

Los plásticos podemos clasificarlo en 3 grupos básicos:

Plásticos no biodegradables: Son materiales sintéticos formados por polimerización de compuestos orgánicos derivados del petróleo. Dentro de esta categoría existen plásticos reciclables y plásticos biodegradables.

Plásticos biodegradables: Son plásticos que se degradan por la acción de agentes biológicos. Pueden ser de origen petroquímico o provenir de fuentes orgánicas renovables. También pueden ser reciclables.

Bioplásticos: Estos, también llamados plásticos orgánicos, son polímeros naturales que no se fabrican con productos petroquímicos, sino que derivan de fuentes renovables. Estos plásticos, por lo general son biodegradables.

Según las condiciones de biodegradación podemos distinguir entre:

Plásticos hidro-degradables: Estos plásticos necesitan un ambiente húmedo y con presencia de microorganismos para que se produzca su degradación, por lo que no se descomponen con facilidad en vertederos.

Plásticos foto-degradables: Se degradan bajo la acción de la luz UV, de manera que no son biodegradables en ambientes oscuros y por lo tanto no son aptos para compostar.

Plásticos oxo-degradables: Este tipo de plástico se le agrega un agente que promueve la degradación, lo que permite que se produzca en cualquier ambiente que haya oxígeno, incluso si no hay agua. La primera etapa de degradación se inicia con luz UV y la ruptura del plástico en fragmentos. Posteriormente los microorganismos lo transforman en agua y dióxido de carbono.

Atendiendo a este origen podemos distinguir los siguientes tipos de bioplásticos:

- Polisacáridos (almidón, celulosa...)
- Proteínas (gelatinas, colágeno, gluten, soja, maíz, suero de leche...)
- Lípidos (triglicéridos)

Sintetizados a partir de monómeros de biomasa: Estos se obtienen por síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales. El más común es el ácido poliláctico (PLA)

Producidos a partir de microorganismos: se forman a partir de un sustrato, enzimas y bacterias. Como resultado se obtiene el Polihidroxialcanoato (PHA) o la celulosa bacteriana, por ejemplo.

Dentro de estos tres grandes grupos hay una gran variedad de bioplásticos, ya que de estos se pueden generar productos puros o mezclas.

Lo bioplásticos basados en acetatos de celulosa se descomponen en pocos años. (Mostafa & Tayeb, 2018)

Ventajas y desventajas de los bioplásticos: Además de producir menos gases de efecto invernadero (principales causantes del cambio climático), los bioplásticos presentan una serie de ventajas frente al plástico convencional:

Los bioplásticos más comunes son biodegradables: por lo que se descomponen en la naturaleza sin intervención humana. Esto representa una ventaja frente a los plásticos convencionales, que se degradan con dificultad y dañan los ecosistemas terrestres y marinos.

Su degradación se produce mucho más rápido: algunos lo consiguen en unas pocas semanas, frente a los cientos de años que puede tardar un plástico convencional.

Por lo general, son compostables: se descomponen en materiales naturales que se mezclan inofensivamente con el suelo o pueden ser empleados para hacer compost.

Son igual de resistentes y versátiles que el plástico derivado del petróleo: por lo que nos permite usarlos para la fabricación de todo tipo de productos.

Son reciclables: y en su gran mayoría pueden emplearse para producción de fertilizantes agrícolas.

No se biodegradan bajo las condiciones habituales de un vertedero: por lo tanto, deben ser separados y sometidos a las condiciones necesarias para su descomposición (que pueden ser diferentes según el bioplástico).

Los bioplásticos rara vez se producen a partir de residuos: lo habitual es que provengan de cereales o harinas, por lo que una producción a gran escala podría tener un impacto negativo en la disponibilidad de alimentos.

El desarrollo de la biotecnología ha posibilitado, entre otras numerosas aplicaciones, encontrar soluciones a dos de los problemas más serios de la industria actual de los polímeros sintéticos.

Los polihidroxialcanoatos o PHA son poliésteres lineales producidos en la naturaleza por las bacterias por fermentación del azúcar o de los lípidos.

A continuación, se presenta en la figura 1, la tendencia en los desperdicios a la producción obtenida:



Figura. 1 Tendencia en la producción de desperdicios plásticos del cepillo.

Se realizó una investigación con dos resinas biodegradables (ErcrosBio® LL 650 y ErcrosBio® LL 600) y se realizó una comparación entre ellas y la que actualmente se utiliza en la fábrica (formolene 4100N).

La resina ErcrosBio® LL 650 es un termoplástico basado en PLA (ácido poliláctico) obtenido de materiales naturales renovables. El contenido de material de origen biológico es superior al 99%. Es apto para la producción de envases alimentarios de acuerdo con los criterios de la Unión Europea. (Unión Europea, 2011).

Es un material diseñado para la producción de lámina mediante extrusión-cast, inyección e inyección-soplado.

Es un material de amplio rango de

proceso, aunque se utiliza preferiblemente en aplicaciones de inyección-soplado de pared gruesa y por sus propiedades al impacto es idóneo para procesos de inyección soplado para la fabricación de cuerpos huecos. La velocidad de cristalización se incrementa con temperaturas de molde elevadas (90 a 110 °C).

ErcrosBio® LL 650 está recomendado para el moldeo por inyección-soplado de botellas y recipientes de todo tipo tales como los tarros para alimentos sólidos. También se recomienda para la obtención de piezas termoconformadas con baja relación de estirado y con requerimientos mecánicos moderados.

Previamente al procesado, el material debe ser secado en un deshumidificador. Puede ser procesado equipos

Son producidos por las bacterias para almacenar carbono y energía. Más de 150 diferentes monómeros se pueden combinar dentro de esta familia para dar materiales con propiedades extremadamente diferentes. Estos plásticos son biodegradables y se utilizan en la producción de bioplásticos. Pueden ser materiales termoplásticos o elastoméricos, con puntos de fusión de entre 40 y 180°C. La mecánica y biocompatibilidad de los PHA también puede cambiarse mediante la mezcla, la modificación de la superficie o la combinación de PHA con otros polímeros, enzimas y materiales inorgánicos, haciendo posible una gama más amplia de aplicaciones.

Para la evaluación y selección del material biodegradable a utilizar en la fabricación de cepillos dentales, inicialmente hay que caracterizar la empresa, sus producciones y específicamente la de cepillos dentales

que es la de interés.

La Empresa de Cepillos y Artículos Plásticos (CEPIL), es una de las entidades del país dedicada a la producción y comercialización de artículos plásticos útiles del hogar que no está exenta de estas cuestiones. El surgimiento de nuevas instalaciones y capacidades productivas de esta índole en el país, ha llevado a que CEPIL busque nuevas alternativas en función de diversificar sus producciones, mantener un estatus en el mercado local y satisfacer las demandas de los clientes potenciales existente.

Se recopiló y analizó la información de los volúmenes de producción anual de cepillo dental vendido a la población y del ciclo de vida del producto. Producto de mayor demanda por su amplio uso personal en toda la población cubana. CEPIL en los últimos 4 años ha vendido 35 971 669 cepillos dentales en el siguiente grafico se muestra un desglose por año.

Tabla 1. Desperdicios plásticos del cepillo dental.

Año	Ventas (cepillos)	Peso g	Desperdicio t
2015	10301463	15,47	159,364
2016	9839344	15,47	152,215
2017	8862333	15,47	137,100
2018	6968529	15,47	107,803

convencionales como los empleados con las poliolefinas. Se recomienda emplear un perfil de temperaturas creciente desde 180 hasta 220 °C manteniendo la entrada de la tolva entre 30 y 40 °C. Se recomienda que la temperatura de la masa fundida no exceda de los 220 °C ya que se puede promover la degradación térmica que dará lugar a ráfagas e imperfecciones del material. La velocidad recomendada para

el husillo es de 100-175 rpm.

Para conseguir prestaciones a altas temperaturas de utilización se recomienda utilizar temperaturas de molde entre 90 y 110 °C. El proceso y el acabado superficial de las piezas mejoran notablemente con moldes de pulido espejo.

A continuación, se muestran las propiedades de la resina:

Tabla 2. Propiedades de la resina ErcrosBio® LL 650:

Propiedad	Valor	Unidades	Método
Índice de fluidez (MFI)	11	g/10 min	ISO 1133-2 (195 °C y 2,16 kg)
Densidad	1,25	g/cm ³	UNE EN ISO 1183-1
Temperatura de fusión	163	°C	ISO 11357
Temperatura de transición vítrea	61	°C	ISO 11357
Módulo de Young	2,8	GPa	EN ISO 527
Elongación a rotura	5,0	%	EN ISO 527
Esfuerzo máximo en tracción	72	N/mm ²	EN ISO 527

La otra resina que se utilizó para la obtención del posible candidato a escoger fue la ErcrosBio® LL 600 de la cual se muestran sus propiedades:

La resina ErcrosBio® LL 600 es un termoplástico basado en PLA (ácido poliláctico) obtenido de materiales naturales renovables. El contenido de material de origen biológico es superior al 99%. Es apto para la producción de envases alimentarios de acuerdo con los criterios del Reglamento de la Unión Europea. (Unión Europea, 2011).

ErcrosBio® LL 600 posee una elevada fluidez por lo que es adecuado para la inyección de materiales de pared fina

donde se desee obtener alta transparencia y tiempos cortos de ciclo de inyección. Se ha diseñado para la obtención de piezas por inyección que no requieran altas propiedades de impacto y que requieran alta rigidez. La velocidad de cristalización se incrementa con temperaturas de molde elevadas (90 a 110 °C).

ErcrosBio® LL 600 está recomendado para el moldeo por inyección de piezas de pared fina tales como vasos, tarrinas, etc. También se puede utilizar para la inyección de piezas pequeñas, carcasas de protección, soportes, pequeños contenedores, etc.

Previamente al procesado, el material

secado en un deshumidificador. Puede ser procesado equipos convencionales como los empleados con las poliolefinas. Se recomienda emplear un perfil de temperaturas creciente desde 180 hasta 220 °C manteniendo la entrada de la tolva entre 30 y 40 °C. Se recomienda que la temperatura de la masa fundida no exceda de los 220 °C ya que se puede promover la degradación térmica que dará lugar a ráfagas e imperfecciones del material. La

velocidad recomendada para el husillo es de 100-175 rpm.

Para conseguir prestaciones a altas temperaturas de utilización se recomienda utilizar temperaturas de molde entre 90 y 110 °C. El proceso y el acabado superficial de las piezas mejoran notablemente con moldes de pulido espejo.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de la resina ErcrosBio® LL 600:

Tabla 3. Propiedades de la ErcrosBio® LL 600.

Propiedad	Valor	Unidades	Método
Índice de fluidez (MFI)	17	g/10 min	ISO 1133-2 (195 °C y 2,16 kg)
Densidad	1,25	g/cm ³	UNE EN ISO 1183-1
Temperatura de fusión	181	°C	ISO 11357
Temperatura de transición vítrea	63	°C	ISO 11357
Módulo de Young	3,0	GPa	EN ISO 527
Elongación a rotura	3,4	%	EN ISO 527
Esfuerzo máximo en tracción	68	N/mm ²	EN ISO 527

Como se dijo anteriormente se realizó una comparación entre las resinas biodegradables analizadas y la resina tradicional para el cepillo dental, de la cual se les mostrarán sus principales propiedades:

Este apartado se analizará el polipropileno homopolímero formolene 4100N que se utiliza actualmente en la empresa y ErcrosBio LL 650, ErcrosBio LL 600. A continuación, se realiza una breve explicación de las características generales de la resina que se está utilizando.

Formolene® 4100N es un polipropileno de homopolímero diseñado para diversas aplicaciones de moldeo por inyección de uso general, como cierres, pequeños electrodomésticos, artículos para el hogar y juguetes. Contiene una combinación única de estabilizadores, que proporciona una excelente capacidad de procesamiento con buena rigidez, resistencia al agrietamiento por estrés ambiental, rendimiento térmico y mínimo olor y sabor.

Formolene® 4100N cumple con los requisitos de la Administración de drogas

y Alimentos de EE. UU. Según lo especificado en 21 CFR 177.1520, que cubre el uso seguro de artículos de poliolefina y componentes de artículos destinados al contacto directo con alimentos.

Se muestran la comparación con las dos resinas biodegradables a seleccionar y la resina utilizada actualmente en el cepillo dental 603:

Tabla 4 . Comparación de los candidatos a seleccionar (ErcrosBio ® LL 650 y ErcrosBio ® LL 600) con la resina de la fábrica (formolene 4100N).

Propiedades	formolene 4100N		ErcrosBio LL 650		ErcrosBio LL 600	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Índice de fluidez (MFI)	12	g/10min	11	g/10min	17	g/10min
Densidad	0.905	g/ ³	1.25	g/ ³	1.25	g/ ³

Por último, se procede al cálculo de la norma de consumo del material seleccionado y a la evaluación económica.

RESULTADOS

Se seleccionó la resina Ercrosbio ® LL 650 ya que su índice de fluidez es el que coincide con los requisitos necesarios para la fabricación del cepillo dental y la resina Ercrosbio ® LL 600 es más adaptable a las producciones de envoltura desechable.

Como resultado del cálculo de la norma de consumo se obtuvo 0.01819 kg/cepillo para la resina Ercrosbio ® LL 650 y 0.018147 Kg/cepillo para la formolene 4100N.

Considerando el precio de la resina Ercrosbio ® LL 650 US, \$3.847, el resultado del gasto del material

biodegradable es de \$ 0.0699/cepillo.

El gasto del material que se utiliza actualmente es \$ 0.0217/ cepillo, atendiendo a que el precio de la resina formolene 4100N, es \$1,2.

Como se aprecia es mayor el gasto al emplear material biodegradable debido a que las resinas son más caras, sin embargo, se evitan los problemas de contaminación ambiental.

Para propiciar su aceptación finalmente en el mercado se propone seguir una estrategia de mercado inicial, que incluya una fase de lanzamiento e introducción en el mercado y otra referente al producto, que implique una sustitución paulatina, comprobando siempre la satisfacción del cliente.

CONCLUSIONES

De todos los productos que elabora la

empresa CEPIL se seleccionó para iniciar la sustitución por material biodegradable, el cepillo dental por ser el de mayor circulación y el que más se recicla.

De los materiales biodegradables considerados como candidatos, se seleccionó el ácido poliláctico (PLA) y dentro de éste Ecrossbio 650, por tener características similares a la resina plástica que hoy se utiliza.

El costo del cepillo plástico es 21776.4 USD y el de material biodegradable es 29035.2 USD. Aunque es más costoso es necesario para los objetivos que tiene la empresa de disminuir la contaminación ambiental y certificar Sistema Ambiental. Con el empleo del material biodegradable se evita el lanzamiento al ambiente de alrededor de 5 Kg por persona, que nunca se degradan. Para el caso de Cuba, aproximadamente en 70 años, serían 55 000 t de residuos no degradables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De la Torre, A. (2019). Los plásticos. Obtenido de sergioyeray.wordpress.com. E., C. (2006). Protocolo de investigación: el plástico como material estructural. México: Organización de las Naciones Unidas (ONUDI).
- Moran, R. (2018). Residuos sólidos urbanos. Recuperado de <http://www.cubasolar.cu>. Mostafa, A., & Tayeb, A. M. (2018). Production of biodegradable plastic from agricultural wastes. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(4), 546-553.
- ONU Medio Ambiente. (2019). Informe anual 2018: Superando la contaminación plástica.
- Redondo, J. (2018). Qué es biodegradable. Obtenido de <http://erenovable.com>
- Rodríguez, P. A., Pérez, A. T., & Velázquez, J. C. (2015). Propuesta de un procedimiento para el reciclado de polietileno de alta densidad. *Revista Cubana de Química*, 27(1).
- Sánchez, J. (2015). El reciclaje de los residuos plásticos y sus oportunidades para Cuba. Obtenido de <http://xn-caribea-9za.eumed.net>
- Tsan, Y. F., & Jeon, Y. J. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625-644. Unión Europea. (2011). Legislación Europea EU 10 para plásticos destinados a estar en contacto con los alimentos.

CORRESPONDECIA:

Dra. Hilda Oquendo Ferrer
hilda.oquendo@reduc.edu.pe