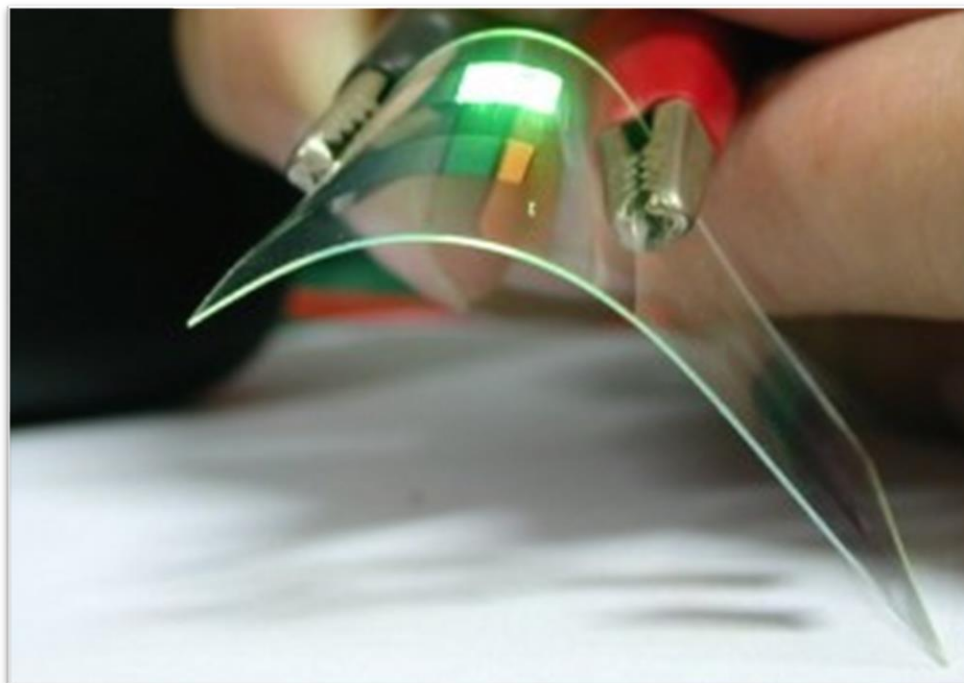


Principales características y aplicaciones de los polímeros conductores

Main characteristics and applications of conductive polymers



Fuente: <https://www.polymersolutions.com/blog/demand-grows-for-conductive-polymers/>

Jonathan Emmanuel De la Peña-González^a, Adali Oliva Castañeda Facio^a, Rosa Idalia Narro Céspedes^a.

^aFacultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés. C.P. 25280, Saltillo Coahuila, México.

Correspondencia para autor: Jonathan Emmanuel De la Peña González
Universidad Autónoma de Coahuila

Correo electrónico: emmanuel.gonzalez@uadec.edu.mx

Resumen

Los polímeros conductores, a diferencia de los polímeros convencionales, que son aislantes eléctricos, cuentan con la capacidad de conducir corriente eléctrica, gracias a diversas razones como lo son, la presencia de insaturaciones o heteroátomos en sus estructuras, estas características aportan electrones de no enlace, los cuales son fácilmente deslocalizables a lo largo de la cadena polimérica, esto ocurre en polímeros como el polipirrol (PPy), politiofeno (PTh), polianilina (PANI) y el poliacetileno (PA). Entre las principales características de los polímeros conductores, está el que son de fácil producción, suelen ser económicos, en comparación con otro tipo de materiales, además algunos de ellos son considerados materiales inteligentes o biocompatibles. La aplicación que se le ha dado a este tipo de materiales es amplia, se utilizan en diversas áreas de la ciencia como la electrónica, la química ambiental, la medicina, entre otras. En el presente trabajo se hace un análisis de la información disponible acerca de los polímeros conductores, resaltando sus principales características y aplicaciones.

Palabras clave: polímeros conductores, características, aplicaciones, politiofeno, polipirrol, polianilina y poliacetileno.

Abstract

Conductive polymers, unlike conventional bond polymers, which are electrical insulators, can conduct electrical current, thanks to various reasons such as the presence of unsaturations or heteroatoms in their structures, these characteristics provide non-electrons., which are easily delocalized along the polymer chain, this occurs in polymers such as polypyrrole (PPy), polythiophene (PTh), polyaniline (PANI) and polyacetylene (PA). Among the main characteristics of conductive polymers is that they are easy to produce, they are usually cheap, compared to other types of materials, and some of them are considered smart or biocompatible materials. The application that has been given to this type of materials is wide, they

are used in various science areas such as electronics, environmental chemistry, medicine, among others. In the present work, an analysis of the information available about conductive polymers is made, highlighting their main characteristics and applications.

Keywords: conductive polymers, characteristics, applications, polythiophene, polypyrrole, polyaniline and polyacetylene.

Introducción

La definición más conocida que se tiene de los polímeros es que son macromoléculas formadas por unidades que se repiten una y otra vez, estas unidades son conocidas como monómeros, los cuales por lo general están unidos por enlaces covalentes entre los átomos. El vocablo polímero está conformado por dos términos griegos: πολύ “poli” que quiere decir muchos y μέρος “meros” que significa partes, de ahí que se entiende por polímeros, muchas partes iguales, porque en realidad eso son, una gran molécula con muchas partes iguales en su estructura (López y col., 2015).

Los polímeros conductores por su parte son polímeros insaturados que tienen en su cadena enlaces de tipo sp^2 y sp^3 , también suelen ser conocidos como polímeros conjugados, la característica de poseer insaturaciones facilita el flujo o movimiento de los electrones libres o no enlazados, a lo largo de la cadena, lo que repercute en una alta conductividad eléctrica (Saravanakumar y col., 2020).

La conductividad eléctrica de un polímero se ve incrementada de dos formas, después de ser sometido a un proceso oxidativo o bien mediante la incorporación de heteroátomos o grupos funcionales en la estructura de la cadena polimérica (Bolaños & Álvarez, 2018).

Las insaturaciones en el esqueleto de estos polímeros no solamente son las responsables de su conductividad eléctrica, sino que causan efectos considerables

en las características de estos materiales, en comparación con polímeros saturados, los polímeros conductores son más rígidos, a pesar de ello, los polímeros conductores siguen siendo fácilmente procesables, por lo que se vuelven atractivos en diversas áreas como la electrónica, la química ambiental, la medicina, etc., además de que su desarrollo y mejora aún continúa (Taghizadeha y col., 2020).

En este trabajo se presenta un análisis de la información disponible acerca de los polímeros conductores, haciendo énfasis en las principales características de estos, así como sus aplicaciones.

Antecedentes de los polímeros conductores

En 1970, uno de los estudiantes del profesor H. Shirakawa cometió un error al colocar más catalizador del requerido en la síntesis de PA, lo que provocó cambios significativos en la estructura del polímero, esto dio como resultado un polímero capaz de conducir la corriente eléctrica. Shirikawa, MacDiarmid y Heeger publicaron sus descubrimientos en dos artículos científicos, donde argumentaban que tras el incremento del uso de yodo gaseoso como dopante en la síntesis del PA, éste elevaba en un millón de veces la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Tales descubrimientos los llevaron a ser galardonados con el premio Nóbel de química en el año 2000, dando pie a un mayor número de investigaciones enfocadas en polímeros conductores (Casanovas y col., 2005).

Los polímeros conductores cuentan con esta propiedad gracias a varios factores como son, la cadena conjugada, donde los dobles enlaces proporcionan electrones libres que pueden transportarse a lo largo de esta cadena. Por otra parte, el dopante tiene la finalidad de eliminar o agregar un electrón a la cadena principal del polímero, lo cual crea una carga deslocalizada que se mueve a través de la cadena. En la Tabla 1, se muestran algunos polímeros conductores y su conductividad eléctrica, se puede notar cómo los valores van desde 20 Scm^{-1} , en el caso de la PANI, hasta valores de los 10^5 Scm^{-1} , en el caso del PA (Balint y col., 2014).

Tabla 1. Polímeros conductores y su conductividad.

Polímero	Conductividad (S cm ⁻¹)
Polipirrol	10 ² -1.5 x 10 ³
Polianilina	20-200
Politiofeno	10-10 ³
Poliacetileno	10 ³ -1.7 X 10 ⁵
poli (<i>p</i> -fenileno)	10 ² -10 ³
Poli (<i>p</i> -fenilenvinileno)	3-5 X 10 ³

Las aplicaciones que se les han dado a los polímeros conductores hasta el día de hoy son variadas, una de ellas es en la síntesis de biosensores, gracias a que estos materiales unen todas las características que tiene un polímero, con la capacidad de conducir la corriente eléctrica, lo que se traduce en materiales económicos, de fácil producción, que sustituyen a otros materiales como los metales, que previamente han sido usados con la misma finalidad, sin embargo son más costosos y difíciles de producir (Tkach y col. 2013).

Una de las maneras de lograr que un polímero conduzca una corriente eléctrica, es mediante la incorporación de nanoestructuras a base de carbono, como los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) o el óxido de grafeno (OG). Lugo y col. (2020) reportan el análisis bibliográfico acerca de la incorporación de este tipo de nanoestructuras a una matriz de poliestireno, ellos concluyen que este tipo de materiales tienen una amplia aplicación en la industria electrónica, ya que mejoran las propiedades del polímero, sin embargo este tipo de materiales en el cual el polímero por sí solo no es conductor, sino que lo es gracias al material incorporado, son considerados como materiales compuestos y no un polímero conductor como tal (Lugo y col., 2020).

Los heterociclos juegan un papel importante dentro de la síntesis de polímeros conductores, ya que como se mencionó anteriormente la conductividad eléctrica de estos materiales se logra gracias a los electrones no enlazados o bien electrones libres dentro de la cadena, los heterociclos cuyo heteroátomo cuenta con electrones de no enlace como el azufre o el nitrógeno, son ampliamente usados en la síntesis de estos materiales, algunos ejemplos de polímeros conductores con heteroátomos son, el polipirrol (PPy), el politiofeno (PTh) y la polianilina (PANI), cuyas estructuras químicas de sus monómeros se muestran en la Figura 1 (Shah y col., 2020).

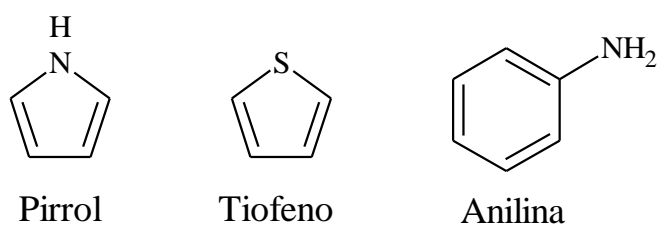


Figura 1. Monómeros con heteroátomos.

Fuente: Elaboración propia

En algunos estudios se ha observado un efecto positivo, en relación con la conducción eléctrica, cuando se realiza un dopaje en polímeros, ya que este proceso introduce portadores de carga mejor conocidos como polarones y bipolarones, lo cual hace al polímero conductor. Este proceso tiene lugar durante la síntesis del polímero y puede llevarse a cabo de diversas maneras, ya sea de forma química, donde se agrega un agente dopante que interactúa directamente en la reacción de polimerización, también electroquímicamente, donde a través de diversas técnicas electroquímicas se logra la incorporación de agentes conductores, o mediante fotodopaje, donde el polímero es expuesto a diversas longitudes de onda en la luz visible para causar así una conductividad fotoinducida. Es importante mencionar que el dopaje está estrechamente ligado a la capacidad de conducción, ya que si se elige un buen dopante y se coloca en las cantidades adecuadas el

resultado será un polímero con una alta conductividad, sin embargo, si no se elige el dopante correcto, resultará en repercusiones negativas en el polímero, ya sea cambios de color, de porosidad, o incluso cambios en las propiedades mecánicas (Guimard y col., 2007).

Principales polímeros conductores y sus características

Polipirrol

Es el polímero más estudiado y es considerado un biomaterial inteligente, el pirrol es un compuesto heterocíclico que cuenta con un átomo de nitrógeno en su estructura, después de ser oxidado da como resultado el PPy, en la mayoría de los casos la oxidación se lleva a cabo por la electropolimerización en un sustrato conductor (electrodo) a través de la aplicación de un potencial externo produciendo películas depositadas sobre el electrodo de trabajo, o bien por polimerización química en solución mediante el uso de un oxidante químico produciendo polvo de PPy (Bermúdez-Rojas 2016).

Una de las rutas de síntesis reportadas para la obtención de PPy se basa en la oxidación con FeCl_3 del pirrol, esta síntesis se realiza en medio acuoso, lo que permite la disociación de la sal teniendo Fe^{3+} y Cl^- , el anión se ve atraído por los electrones de no enlace del N, lo que origina un fenómeno de resonancia dentro del heterociclo, favoreciendo la polimerización del monómero como se muestra en la Figura 2 (Minisy y col., 2020). Balint y col. (2014), reportaron que esta ruta de síntesis permite la obtención del PPy de tal forma que se logra variar fácilmente su porosidad y es fácil de procesar (Balint y col., 2014).

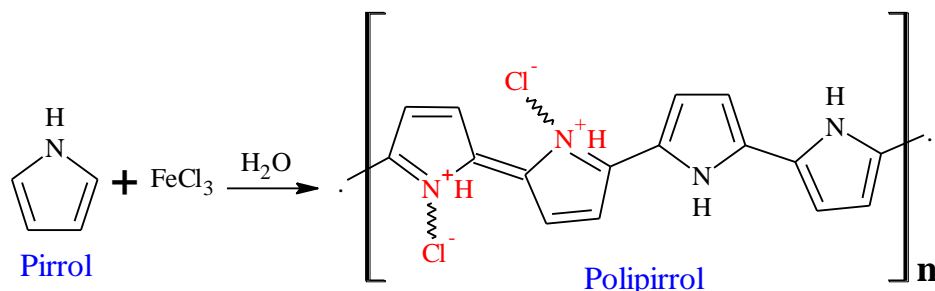


Figura 2. Síntesis de PPy en presencia de FeCl₃ y medio acuoso, (Minisy y col., 2020).

Fuente: Elaboración propia

El PPy, es considerado un biomaterial inteligente, los cuales son todos aquellos materiales usados para abordar problemas biológicos, estos materiales generan un soporte funcional o estructural, pero permanecen relativamente inertes en el organismo, algunos otros ejemplos de biomateriales inteligentes son: los empastes dentales, las caderas artificiales, los stents cardíacos y los implantes ortopédicos (EBioMedicine, 2017).

Polianilina

Es el segundo polímero conductor más investigado, se le conoce también como negro de anilina. Es un polímero fácil de sintetizar y de bajo costo, es estable a condiciones ambientales y posee una buena conducción eléctrica, sin embargo, no logra una buena compatibilidad biológica, debido a su baja procesabilidad, la falta de flexibilidad y la no biodegradabilidad, lo cual causa inflamación crónica después de implantado (Balint y col., 2014).

La PANI y sus derivados, se preparan más comúnmente a través de la polimerización oxidativa química o electroquímica de los respectivos monómeros de anilina en solución ácida. Sin embargo, se han desarrollado actualmente una variedad de técnicas de polimerización, que incluyen, polimerización

electroquímica, química, iniciada fotoquímicamente, catalizada por enzimas, o empleando aceptores de electrones (Spinks y col., 2002).

Sapurina & Stejskal (2008) presentan un método de síntesis de PANI, donde se coloca la anilina en presencia de peroxidisulfato de amonio, dicha reacción se observa en la Figura 4 (Sapurina & Stejskal 2008).

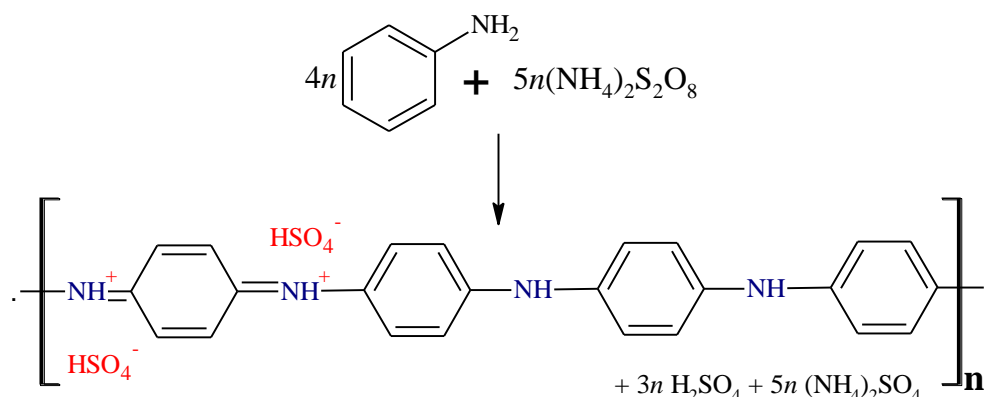


Figura 4. Reacción para la obtención de PANI (Sapurina & Stejskal 2008).

Fuente: Elaboración propia

La PANI es un polímero "escalera" que polimeriza de la cabeza a la cola, se diferencia del PPy y el PTh en que el N heteroátomo que participa directamente en el proceso de polimerización también participa en la conjugación de la forma conductora del polímero en mayor medida que los heteroátomos N y S en PPy y PTh (Pérez-Martínez 20015).

Politiofeno

El PTh es un polímero estructuralmente muy parecido al PPy, la diferencia está en el heteroátomo presente en el monómero, es uno de los polímeros conductores típicamente más usados, se sintetiza a partir de la oxidación de la cadena polimérica, esta oxidación genera la conducción eléctrica. La conductividad eléctrica en el PTh resulta de la deslocalización de electrones a lo largo de la cadena

polimérica, es el polímero con la mayor conductividad debido a sus enlaces α - α , en la Figura 3, se presenta la reacción para la síntesis de este polímero, en presencia de diclorometano y acetonitrilo (Thanasamy y col., 2019).

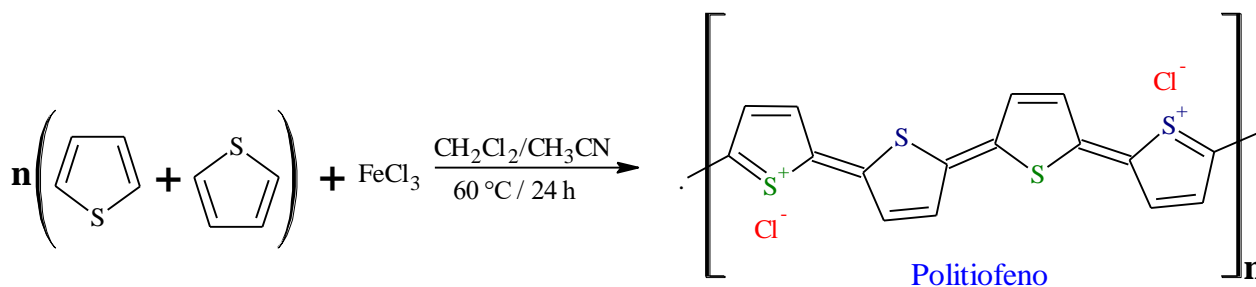


Figura 3. Reacción para la síntesis de PTh, (Thanasamy y col., 2019).

Fuente: Elaboración propia

Una de las principales características del PTh y sus derivados, especialmente de los sulfonados, es que son solubles en agua, por lo general el peso molecular de este polímero es de 16000 (Mw), con una polidispersidad de 2.8, su conductividad eléctrica va de los 10 - 10^3 Scm^{-1} , debido a que el PTh en sí mismo es propenso a la sobreoxidación durante la polimerización, la mayor parte de los trabajos de investigación se han centrado en tiofenos alquilados que tienen mayores potenciales de sobreoxidación (Spinks y col., 2002).

Poliacetileno

El PA es un polímero conductor que puede ser sintetizado a partir de monómeros de origen natural, puede ser aislado de las raíces de *Bupleurum chinense*, (Cao y col., 2020), este material es ampliamente usado en la fabricación de baterías recargables y de celdas de combustible para autos eléctricos (Choy, M. 2002).

El PA al igual que los ejemplos anteriores es un biomaterial, ya que es compatible con el organismo, y se ha demostrado su efectividad como antitumoral, aunado a que su síntesis es sencilla y puede llevarse a cabo en tan solo cuatro pasos (Rocha y col., 2018).

En la Figura 5, se presentan la reacción de polimerización del PA a partir de etino, en presencia de catalizadores de Ziegler, cuyos componentes se caracterizan por tener baja acidez de Lewis como es el caso del $\text{Ti}(\text{O-n-Bu})_4\text{-Et}_3\text{Al}$ en una relación (1:4), la forma *cis* del PA se obtiene cuando la reacción se lleva a bajas temperaturas, mientras que la forma *trans* se logra a temperaturas superiores a los 100 °C. Este material es usado en la síntesis de celdas solares, así como en la fabricación de baterías (Masuda & Higashimura 1987).

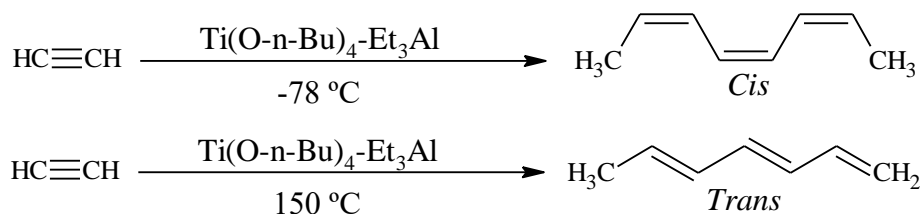


Figura 5. Reacción para la obtención de PA usando catalizadores de Ziegler.

Fuente: Elaboración propia

Aplicaciones de los polímeros conductores

Tratamiento de aguas o contaminantes

Taghizadeh y col. (2020) llevaron a cabo un análisis de información acerca de la aplicación que tienen los polímeros conductores en el tratamiento de aguas, argumentan que a nivel mundial se ha generado una problemática debido a la falta de agua potable, estiman que alrededor de un tercio de la población mundial, no tiene acceso a este vital líquido, esto debido a varios factores, entre los que destaca,

la contaminación del agua con agentes químicos derivados del petróleo, tintes orgánicos, iones metálicos, entre otros, que son contaminantes provenientes de diversas industrias. Los polímeros conductores presentan una alternativa para el tratamiento de aguas, ya que a partir de ellos se pueden generar electrodos de bajo costo, los cuales pueden ser usados en diversas técnicas electroquímicas para llevar a cabo la degradación de dichos contaminantes. Entre estos polímeros destacan el PANI, el PPy, y el PTh, los cuales presentan una gran ventaja al ser económicos y de mayor durabilidad, comparado con los electrodos de Pt que son usados actualmente (Taghizadeh y col., 2020).

Katančić y col. (2020) reportaron la síntesis de un compósito a base de óxido de titanio (TiO_2) y poli (3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT), para la eliminación de bisfenol A (BPA), el cual es un contaminante presente en aguas que tuvieron contacto con procesos de polimerización, este se adhiere a los tejidos adiposos del organismo y causa malformaciones en el desarrollo del embrión en el embarazo, el PEDOT es un polímero conductor, derivado del PTh, el cual tiene un buen acoplamiento con el TiO_2 , para la eliminación de BPA, mediante técnicas fotocatalíticas (Katančić y col., 2020).

En el área biomédica

Zhang y col. (2020) reportaron la síntesis de un hidrogel a base de un polímero conductor que es autodopante, el cual tiene aplicaciones en la propagación del impulso eléctrico después de un infarto de miocardio, además de prevenir la arritmia cardíaca y preservar la función ventricular. Ellos usaron ácido poli-3-amino-4-metoxibenzoico (PAMB), el cual es una PANI funcionalizada con un grupo carboxilo, sin embargo, su principal característica es que es autodopante, es decir que, en los intervalos de pH del cuerpo humano, el PAMB, mantendrá su conductividad en los tejidos biológicos. Ellos para mejorar la biocompatibilidad del polímero, adicionaron

el PAMB a una gelatina a base de colágeno, la cual se retícula con carbodiimida, para así obtener un gel conductor inyectable (Zhang y col., 2020).

Oh & George (2019) reportaron el uso de polímeros conductores para la liberación de fármacos y estimulación eléctrica, con el fin de optimizar el entorno posterior al accidente cerebrovascular para la recuperación neuronal, mencionan que los polímeros conductores son de gran utilidad en el tratamiento de las secuelas de este tipo de padecimientos, ya que cuentan con la capacidad de adsorber diversos fármacos, los cuales son liberados paulatinamente en el organismo, además de que la capacidad conductora brinda una nueva técnica para la estimulación neuronal (Oh & George, 2019).

Lee y col. (2006) mencionan que el PPy, es un material atractivo para aplicaciones biomédicas, ya sea como recubrimiento de electrodos o sondas neurales, o bien como andamios para inducir la regeneración de tejidos, ellos realizaron la modificación de la superficie de PPy con restos biológicos, con la finalidad de mejorar la interfaz biomaterial tejido, para ello, primeramente realizaron la síntesis de poli(1-(2-carboxietil)pirrol) (PPyCOOH), que es un derivado del PPy, con un grupo carboxilo, el cual es fácilmente modificable con los grupos nitrilos de las proteínas de los residuos biológicos. Demostraron que las células endoteliales vasculares umbilicales humanas (HUVEC) cultivadas en películas de PPyCOOH tienen una unión y extensión mejoradas, por lo que concluyen que el PPy podría ser útil en el desarrollo de materiales que contienen una variedad de moléculas biológicas como plataformas conductoras bioactivas para fines biomédicos específicos (Lee y col., 2006).

Peramo y col. (2008) llevaron a cabo la síntesis *in situ* de poli(3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT), en tejidos musculares, esto con la finalidad de lograr la producción biológica de tejido con una capa de material conductor. Para ello, en una solución acuosa de FeCl_3 , se añadió el EDOT, y se mantuvo en agitación, después, el tejido

muscular se sumergió en la solución por 20 minutos, manteniendo la temperatura en un rango de 0-3 °C, con la finalidad de ralentizar la polimerización, posteriormente el tejido se mantuvo a 25 °C, con una humedad relativa del 65% por 24 h, fue en este periodo en el que el EDOT, polimerizó sobre la superficie de tejido muscular, después de esto, el tejido se lavó con agua destilada. Concluyen que con este método es fácil la polimerización de PEDOT sobre tejidos biológicos, esto permite aprovechar las capacidades conductoras del polímero para estimular el desarrollo de tejido muscular, además de la posible implantación de fármacos que pueden ser liberados de manera paulatina (Peramo y col., 2008).

Castano y col. (2004) realizaron la evaluación de la proliferación de células madre mesenquimales de rata, sobre películas de PPy, obtenido mediante polimerización en emulsión, para ello, primeramente colocaron soluciones de concentraciones variadas de pirrol sobre cajas para cultivo de poliestireno, posteriormente añadieron dodecilsulfato de sodio como tensoactivo y persulfato de amonio como iniciador de la polimerización, después de dos horas de mantener la reacción con agitación ligera, decantaron el sobrenadante y lavaron la película de PPy con agua destilada. Después de elaborar las películas de PPy, sobre ellas se sembraron 2105 células madre mesenquimales de rata, a partir de fémures y tibias de ratas Wistar de 8 semanas, las películas fueron incubadas en atmósfera humidificada de 95% de aire y 5% de CO₂ a 37 °C por periodos de 4, 8, y 20 días. Concluyeron que el método de polimerización por emulsión permite el recubrimiento de superficies no conductoras como el poliestireno, con polímeros conductores como el PPy, además de que este polímero resultó excelente para la proliferación de células madre mesenquimales, las cuales pueden ser usadas como regenerador de tejidos destruidos o dañados por enfermedades neurodegenerativas, o crónicas como la diabetes y las cardiopatías (Castano y col., 2004).

Desarrollo de sensores y biosensores

Miyata y col. (2020) reportaron el uso de PANI y TiO_2 para la obtención de detectores de radiación, en dicho estudio compararon el uso de este polímero contra los actuales detectores de radiación a base de materiales inorgánicos, y argumentaron que el uso de PANI facilita la producción de este tipo de sensores a gran escala, además reportaron la obtención de un electrodo tipo peine, que tuvo una eficiencia del 10% en la detección de radiación por rayos β (Miyata y col., 2020).

Por otro lado, Šetka y col. (2020) reportaron el uso de PPy para diseño de sensores de onda (Love Wave) para la detección de diversas enfermedades a través del aliento humano, para lograr esto, modificaron el pirrol con nanopartículas de oro mediante una polimerización química oxidativa, y la adición de trihidrato de cloruro de oro (III) ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Ellos realizaron pruebas de detección de amoníaco y etileno encontrando que sus sensores a base de PPy son efectivos para la detección de gases (Šetka y col., 2020).

Lai y col. (2016) realizaron una revisión bibliográfica detallada sobre la PANI, usada en biosensores para la detección de glucosa, mencionan que este polímero no solo ha sido usado como matriz para la inmovilización de glucosa oxidasa, sino que también actúa como mediador de electrones durante el proceso de reacción enzimática, esto debido a su alta conductividad su excelente estabilidad, sus propiedades electroquímicas regulables y su biocompatibilidad, mencionan que los materiales basados en PANI tienen mucho potencial para fabricar biosensores de glucosa sin mediadores y son esperanzadores como matriz ideal para el desarrollo de biosensores estables y fiables (Lai y col., (2016).

En el área electrónica

Maeda y col. (2020) reportaron la unión por termocompresión de películas poliméricas conductoras para la obtención de cables usados en la industria electrónica orgánica, para ello unieron mediante termocompresión películas de polímero conductor de poli(3,4-etilendioxitiofeno) poliestireno sulfonato (PEDOT:

PSS), los rangos de temperatura a los cuales realizaron las uniones van de los 50 a los 100 °C. Reporta que después de la termocompresión, las películas PEDOT: PSS mantuvieron su conductividad eléctrica óhmica a pesar de que la interfaz adherida tenía una resistividad de contacto de menos de $1.3 \Omega \text{ cm}^2$. Concluyeron que la adhesividad de unión fue altamente mejorada, y las películas fueron fuertemente adheridas a una temperatura de unión de $\sim 100 \text{ °C}$, este tipo de materiales ha tenido gran aplicación en la industria electrónica, ya que los polímeros conductores han venido a remplazar materiales como el vidrio anteriormente usado en las pantallas de equipos electrónicos (Maeda y col., 2020).

Mantione y col. (2017) reportan la síntesis y aplicaciones de materiales innovadores de tipo poli (etilendioxitiofeno) para bioelectrónica. Primeramente, presentan un análisis detallado de las diferentes rutas sintéticas para la obtención de (bio) funcionales derivados de monómero/polímero de dioxitiofeno, después se centraron en la preparación de dispersiones de PEDOT utilizando diferentes biopolímeros y biomoléculas como dopantes y estabilizadores. Concluyen que el PEDOT, y más recientemente ProDOT y sus derivados, tienen varias propiedades atractivas que incluyen buena estabilidad, suficientemente alta conductividad eléctrica y la capacidad de atrapar y liberar biomoléculas. Han demostrado un tremendo potencial en el campo de la bioelectrónica orgánica, tanto en el dominio de la biodetección como para la integración con la vida células (tanto *in vitro* como *in vivo*), (Mantione y col., 2017).

Conclusiones

Los polímeros conductores son materiales que cuentan con la capacidad de combinar las cualidades de un polímero, con la conductividad que ofrecen los metales. En el presente trabajo se hace un breve análisis de la información que hay disponible acerca de los polímeros conductores. Entre las características con las

que cuentan este tipo de materiales, está el que suelen ser de fácil producción y más económicos en comparación con otros materiales conductores de matriz metálica, las rutas de síntesis son variadas y por lo general son sencillas, en este trabajo se presentó principalmente el método de síntesis químico, los polímeros conductores cuentan con insaturaciones en la cadena polimérica o bien con la presencia de heteroátomos en su estructura, siendo esto lo que logra que dichos materiales sean conductores, ya que los electrones se mueven a lo largo de la cadena polimérica, lo que genera una corriente eléctrica.

Algunos polímeros conductores como el PAMB, que es un derivado de la PANI y el PA son considerados materiales inteligentes y biocompatibles gracias a la buena adaptación que presentan en el cuerpo humano.

Las aplicaciones que tienen este tipo de materiales van desde la industria electrónica y médica en la producción de sensores para la detección de enfermedades, así como en la industria medioambiental, en la síntesis de electrodos usados para la eliminación de contaminantes.

Los polímeros conductores como el PPy, PTh, PANI y PA son de gran utilidad en el desarrollo tecnológico actual, presentan un área de oportunidad en futuras investigaciones, ya que aún es posible el desarrollo de nuevos materiales con mejores aplicaciones, para desarrollar nueva tecnología que dé solución a las problemáticas mundiales actuales.

Referencias bibliográficas

López, F., Mendizábal, E., & Ortega, P. (2015). *Introducción a la ciencia de los polímeros*. (Primera edición). México: Ed. CUCEI 149 Pp.

Saravanakumar, K., Balakumar, V., Govindan, K., Jang, A., Lee, G., & Muthuraj, V. (2020). Polyaniline intercalated with Ag_{1.2}V₃O₈ nanorods based electrochemical

sensor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 91, 93–101.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.07.036>

Bolaños, L. & Álvarez, L. 2018. Polímeros conductores: Aplicaciones en celdas fotovoltaicas y dispositivos electrónicos. *Ciencia y Tecnología*. 34(1): 18-38.

Taghizadeh, A., Taghizadeh, M., Jouyandeh, M., Yazdi, M. K., Zarrintaj, P., Saeb, M. R., Lima, E. C., & Gupta, V. K. (2020). Conductive polymers in water treatment: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 312, 113447.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113447>

Casanovas, J., Armelin, E., Iribarren, J., Alemán, C. & Liesa F. 2005. La modelización molecular como herramienta para el diseño de nuevos polímeros conductores. *Polímeros: Ciencia y Tecnología*. 15, 239-244.

Balint, R., Cassidy, N. J., & Cartmell, S. H. (2014). Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 10(6), 2341-2353.
<https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.02.015>

Spinks, G. M., Kane-Maguire, L. A. P., Teasdale, P. R., & Wallace, G. G. (2002). *Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Materials Systems* (2.^a ed.). Crc Pr I Llc.

Tkach, V., Nechyporuk, V. & Yagodnets, P. 2013. Descripción matemática de la síntesis electroquímica de polímeros conductores en la presencia de surfactantes. *Avances en Química*. 8, 9-15.

Lugo, F., Sáenz-Galindo, A., Castañeda-Facio, A. & Ávalos, F. 2020. Aplicaciones de nanocompuestos a base de poliestireno con nanotubos de carbono. *CienciaAcierta*. 16(61), 6-16.

Shah, S. S., Alfasane, M. A., Bakare, I. A., Aziz, M. A., & Yamani, Z. H. (2020). Polyaniline and heteroatoms–enriched carbon derived from *Pithophora polymorpha*

composite for high performance supercapacitor. *Journal of Energy Storage*, 30, 101562. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101562>

Guimard, N. K., Gomez, N., & Schmidt, C. E. (2007). Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in Polymer Science*, 32(8-9), 876-921. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.05.012>

Bermúdez-Rojas, M. C. (2016). *Síntesis y caracterización de polipirrol dopado con poliestireno sulfonato de sodio*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

EBioMedicine. (2017). Smart Biomaterials, Smarter Medicine? *EBioMedicine*, 16, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.02.001>

Minisy, I. M., Bober, P., Šeděnková, I., & Stejskal, J. (2020). Methyl red dye in the tuning of polypyrrole conductivity. *Polymer*, 207, 122854. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122854>

Sapurina, I., & Stejskal, J. (2008). The mechanism of the oxidative polymerization of aniline and the formation of supramolecular polyaniline structures. *Polymer International*, 57(12), 1295-1325. <https://doi.org/10.1002/pi.2476>

Pérez-Martínez, C. J. (2015). *Bioactivación de polianilina para aplicaciones biomédicas*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

Thanasamy, D., Jesuraj, D., Konda kannan, S. K., & Avadhanam, V. (2019). A novel route to synthesis polythiophene with great yield and high electrical conductivity without post doping process. *Polymer*, 175, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.03.042>

Cao, T. Q., Vu, N. K., Woo, M. H., & Min, B. S. (2020). New polyacetylene and other compounds from *Bupleurum chinense* and their chemotaxonomic significance. *Biochemical Systematics and Ecology*, 92, 104090. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104090>

Choy, M. (2002). Polímeros conductores como alternativa tecnológica en la protección de nuestro ambiente. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 3(3), 1–14. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/previos-choy.pdf>

Rocha M., V., Weber B., M., & Danheiser, R. (2018). A short and efficient synthesis of the polyacetylene natural product deca-4,6,8-triyn-1-ol. *Tetrahedron Letters*, 59(37), 3405-3408. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2018.07.059>

Masuda, T., & Higashimura, T. (1987). Polyacetylenes with substituents: Their synthesis and properties. *Catalytical and Radical Polymerization*, 121-165. <https://doi.org/10.1007/bfb0037614>

Taghizadeh, A., Taghizadeh, M., Jouyandeh, M., Yazdi, M. K., Zarrintaj, P., Saeb, M. R., Lima, E. C., & Gupta, V. K. (2020). Conductive polymers in water treatment: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 312, 113447. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113447>

Katančić, Z., Chen, W.-T., Waterhouse, G. I. N., Kušić, H., Lončarić Božić, A., Hrnjak-Murgić, Z., & Travas-Sejdic, J. (2020). Solar-active photocatalysts based on TiO₂ and conductive polymer PEDOT for the removal of bisphenol A. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 396, 112546. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112546>

Zhang, C., Hsieh, M.-H., Wu, S.-Y., Li, S.-H., Wu, J., Liu, S.-M., Wei, H.-J., Weisel, R. D., Sung, H.-W., & Li, R.-K. (2020). A self-doping conductive polymer hydrogel that can restore electrical impulse propagation at myocardial infarct to prevent cardiac arrhythmia and preserve ventricular function. *Biomaterials*, 231, 119672. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.119672>

Oh, B., & George, P. (2019). Conductive polymers to modulate the post-stroke neural environment. *Brain Research Bulletin*, 148, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2019.02.015>

Lee, J. W., Serna, F., Nickels, J., & Schmidt, C. E. (2006). Carboxylic Acid-Functionalized Conductive Polypyrrole as a Bioactive Platform for Cell Adhesion. *Biomacromolecules*, 7(6), 1692–1695. <https://doi.org/10.1021/bm060220q>

Peramo, A., Urbanchek, M. G., Spanninga, S. A., Povlich, L. K., Cederna, P., & Martin, D. C. (2008). In Situ Polymerization of a Conductive Polymer in Acellular Muscle Tissue Constructs. *Tissue Engineering Part A*, 14(3), 423–432. <https://doi.org/10.1089/tea.2007.0123>

Castano, H., O’Rear, E. A., McFetridge, P. S., & Sikavitsas, V. I. (2004). Polypyrrole Thin Films Formed by Admicellar Polymerization Support the Osteogenic Differentiation of Mesenchymal Stem Cells. *Macromolecular Bioscience*, 4(8), 785–794. <https://doi.org/10.1002/mabi.200300123>

Miyata, E., Miyata, H., Fukasawa, E., Kakizaki, K., Abe, H., Katsumata, M., Sato, M., Suzuki, T., Tamura, M., & Umeyama, A. (2020). Hybrid semiconductor radiation detectors using conductive polymers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 955, 163156. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.163156>

Šetka, M., Bahos, F. A., Matatagui, D., Potoček, M., Kral, Z., Drbohlavová, J., Gràcia, I., & Vallejos, S. (2020). Love wave sensors based on gold nanoparticle-modified polypyrrole and their properties to ammonia and ethylene. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 304, 127337. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127337>

Lai, J., Yi, Y., Zhu, P., Shen, J., Wu, K., Zhang, L., & Liu, J. (2016). Polyaniline-based glucose biosensor: A review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 782, 138–153. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.10.033>

Maeda, K., Nitani, M., & Uno, M. (2019). Thermocompression bonding of conductive polymers for electrical connections in organic electronics. *Polymer Journal*, 52(4), 405–412. <https://doi.org/10.1038/s41428-019-0294-0>

Mantione, D., del Agua, I., Sanchez-Sanchez, A., & Mecerreyes, D. (2017). Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) Derivatives: Innovative Conductive Polymers for Bioelectronics. *Polymers*, 9(12), 354. <https://doi.org/10.3390/polym9080354>