

BIOMATERIALES

para la rehabilitación del cuerpo humano

BENJAMÍN VALDEZ S., MICHAEL SCHORR W., ERNESTO VALDEZ S. Y MÓNICA CARRILLO B.



Desde los albores de la civilización, el ser humano ha aprovechado los materiales de su entorno para manufacturar y construir sus utensilios, herramientas, armas, viviendas, templos, monumentos... Tales materiales se conocen como estructurales: piedra, madera, metales y concreto.

Durante el siglo xx aparecieron los materiales funcionales; es decir, aquellos que cumplen con una función específica en los sistemas modernos eléctricos, electrónicos, ópticos, mecánicos, sensores y también en el cuerpo humano. Los biomateriales son, por excelencia, materiales funcionales.

La principal aplicación de los biomateriales, incluyendo las aleaciones metálicas, es reparar o reconstruir las partes del cuerpo humano que han sufrido daño o se han perdido, con lo que se busca relevar el sufrimiento y prolongar la vida.

La intervención al cuerpo humano, conocida como cirugía, se ha practicado desde la antigüedad en civilizaciones de América, India, Medio Oriente, Grecia y Roma; quienes la llevaban a cabo combinaban magia, religión y medicina. De hecho, los arqueólogos encuentran a menudo evidencias de craneotomías, amputaciones, tratamientos de fracturas de huesos, operaciones cesáreas, etcétera.

Por supuesto, hay varios elementos que intervienen en la elevación de la calidad de los servicios de rehabilitación, uno de ellos es la anestesia; antes de su existencia, los pacientes eran sedados con opio, alcohol y otras drogas que generalmente tenían repercusiones –al menos temporales– en los pacientes. Otro ejemplo podría ser la aplicación de algún material estructural en el instrumental utilizado en la operación; así la amputación de una pierna se podía llevar a cabo en corto tiempo cuando empezó a utilizarse la sierra de acero. La cirugía moderna –basada en la ciencia médica y la tecnología– se ha diversificado en numerosas especialidades y recurre a sofisticados instrumentos quirúrgicos que pueden ser operados de manera manual o mediante sistemas computarizados.

NUEVOS ENFOQUES Y APLICACIONES

La ingeniería biomédica, como integración de la medicina y la ingeniería de materiales, ha avanzado con pasos gigantescos en las últimas décadas. Los biomateriales cumplen funciones básicas en el cuerpo humano, asegurando la calidad de vida de las personas enfermas o de quienes han sufrido accidentes traumáticos, proveyéndolas de implantes ortopédicos, reguladores de sistemas cardiovasculares y biosensores, por mencionar algunos ejemplos.

Según su composición química, los biomateriales se clasifican en metálicos, plásticos (o poliméricos), cerámicos y compuestos; de acuerdo con su origen, en naturales y sintéticos y por su estructura, en sólidos y porosos, pero existe otra clasificación práctica que comprende dispositivos implantables: ortopédicos y vasculares (como los tubos de dacrón utilizados como sustitutos de venas), marcapasos, anticonceptivos, dentaduras fijas y removibles. Los dispositivos no implantables incluyen sondas, catéteres y globos angioplásticos que permiten realizar operaciones de dilatación de venas o arterias obstruidas.

El conocimiento –y la aplicación– de los biomateriales involucra un amplio espectro de disciplinas: medicina, biología, química, física, mecánica, metalurgia, ingeniería, informática y computación; así como numerosas áreas de actividad, algunas bien establecidas y otras nuevas o innovativas, las cuales se desarrollan en instituciones de estudio e investigación, hospitales y escuelas de medicina, a saber:

- Implantes ortopédicos biocompatibles, por ejemplo para reparación de huesos, tendones, cartílagos y articulaciones.
- Rehabilitación de tejidos y órganos, disciplina también conocida como ingeniería de tejidos blandos, que ya ha producido piel artificial para injertos en casos de quemaduras graves.



- Materiales dentales para implantes, prótesis fijas o removibles y puentes fijos para mantener la función, salud y estética bucal y dental.
- Sistemas de dosificación de medicamentos y antibióticos por cápsulas injertadas debajo de la piel, controladas por biosensores, operados en casos de infección.
- Bioelectrónica molecular, con base en polímeros conductores de corriente eléctrica y modelos moleculares computarizados, usando biomoléculas para construir nuevos biomateriales.
- Dispositivos y métodos anticonceptivos manufacturados con materiales metálicos o plásticos, o implementados por sistemas químicos o biológicos hormonales.
- La nanotecnología facilita la creación de nanorrobots, tan minúsculos que se introducen en las arterias, y pueden detectar y destruir depósitos de grasa; de este modo mejoran tanto la circulación de la sangre como el abastecimiento de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo. Las nanopartículas se utilizan en biomedicina y biotecnología para la producción de enzimas y moléculas bioactivas y en la separación de tejidos blandos.
- Circuitos integrados nano, que se utilizan como partes integrales de los implantes cerebrales, sirven para investigar y tratar enfermedades y trastornos de las redes neuronales, bajo el control de computadoras superpoderosas.

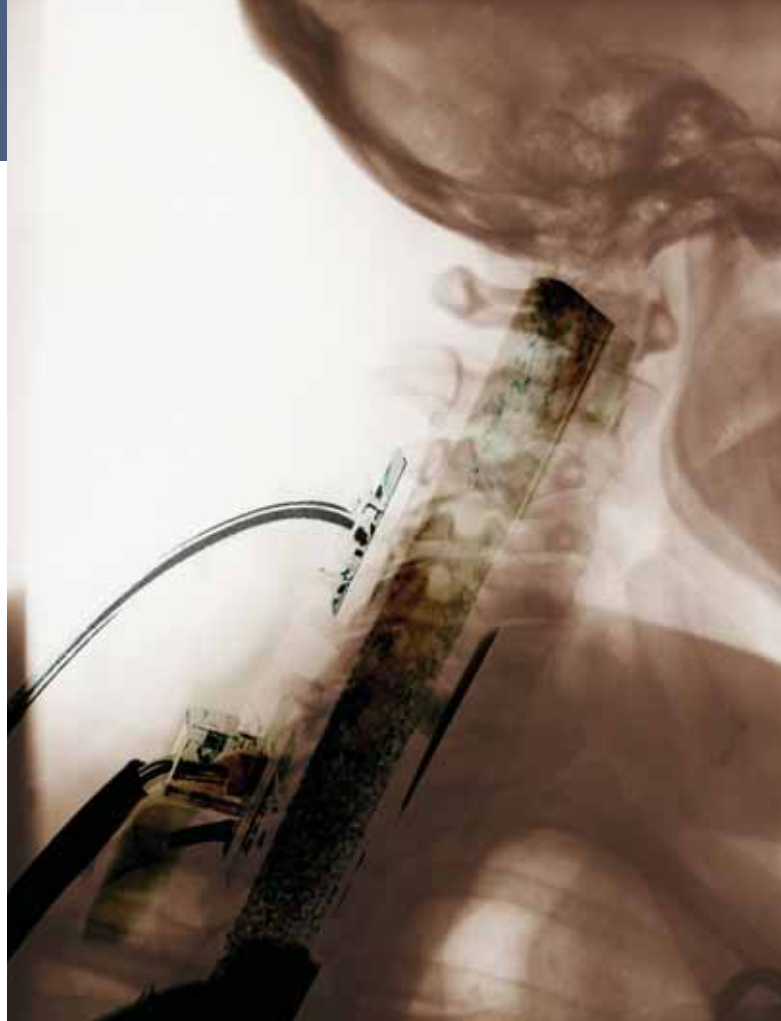
La principal aplicación de los biomateriales es reparar o reconstruir las partes del cuerpo dañadas o perdidas, procurando mitigar el sufrimiento, restituir las funciones y prolongar la vida

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

La ciencia y la tecnología de biomateriales constituyen un campo con retos serios que exigen una intensa actividad de investigación, desarrollo y aplicación de numerosas disciplinas e ingenierías. Las universidades e instituciones de estudios superiores de nuestro país se integran paso a paso en este entorno multidisciplinario para el beneficio de los seres humanos en general y de la población mexicana, en particular. La bioingeniería se ocupa de todo esto, ya que es un campo multidisciplinario, apoyado por tecnologías actuales de informática, computación y comunicación,

que incluye diseño de componentes y aparatos, mecánica de sólidos y de fluidos, termodinámica, transferencia de masa y calor, biosensores, manufactura y robótica, modelos y simulación de procesos bioquímicos y mecánicos. En estas actividades se emplean bases de datos computarizadas, sistemas expertos e inteligencia artificial en áreas médicas específicas, por ejemplo para la selección de materiales. Además, se utiliza información y programas provistos por internet. Algunas de las investigaciones e implementaciones avanzadas son:

- Monitoreo computarizado de pacientes durante la intervención quirúrgica y el cuidado intensivo postoperatorio.
- Sensores para medir la composición química de la sangre.
- Diseño y uso de dispositivos terapéuticos avanzados, por ejemplo sistemas láser para cirugía de ojos o dispositivos para el suministro intracorporal automático de insulina para enfermos de diabetes.
- Desarrollo de cementos óseos basados en la hidroxiapatita –el mineral que constituye nuestro esqueleto– para reparar y sustituir huesos, y para tratar la osteoporosis mediante inyecciones de hidroxiapatita en forma de gel.
- Diagnóstico y selección de tratamiento médico con ayuda de sistemas expertos computarizados, por ejemplo, tratamiento de pacientes con quemaduras graves.
- Aplicación de instrumentos computarizados para obtener imágenes del cuerpo, rayos X, tomografía, resonancia magnética, ultrasonido, etcétera.
- Modelos y simulación numérica de sistemas fisiológicos dinámicos de órganos como el corazón y los pulmones, de mecanismos electroquímicos de cerebro y sistema nervioso en general y de los sistemas sensoriales, entre otros.
- Desarrollo de células madre tomadas del óvulo fecundado o del embrión, las cuales crecen en el laboratorio sobre un andamio plástico biodegradable, produciendo un tejido de tres dimensiones. Según los nutrientes que se les suministre, se convierten en músculos, arterias, cartílagos o nervios para ser injertados en el cuerpo humano, sin ser rechazados.



En todas estas áreas existe una gran interdependencia y cooperación entre médicos, cirujanos, bioingenieros e ingenieros de operación y mantenimiento de instrumentos y equipos del quirófano, en el laboratorio clínico y las áreas de rehabilitación.

BIOMATERIALES EN MEDICINA

Los dispositivos biomédicos adaptados al cuerpo humano se fabrican con los cuatro materiales de ingeniería convencionales: metálicos, plásticos, cerámicos y compuestos; según el uso, ubicación, función; órgano o tejido duro o blando a reemplazar o reparar.

Los metales se utilizan básicamente en implantes y fijaciones ortopédicas; los plásticos flexibles para corregir tejidos blandos, cartílagos, venas y arterias; los plásticos rígidos para reemplazar la cabeza del fémur que gira dentro de la concavidad de la pelvis; asimismo, los materiales cerámicos se emplean en el reemplazo de huesos y como recubrimientos sobre metales. También se aplican materiales avanzados como las aleaciones con memoria de forma, las cuales pueden cambiar por efecto de la temperatura dentro del cuerpo humano, amoldándose a

las cavidades en las que han sido insertadas. Los materiales porosos, por su parte, permiten el crecimiento del hueso dentro de los poros y su posterior unión con las fibras de los tejidos adyacentes. Las espirales elásticas de acero inoxidable introducidas en venas o arterias cubren el objetivo de evitar que éstas se colapsen.

La composición química de los metales y aleaciones afecta en forma significativa el comportamiento de corrosión en el cuerpo humano; un ejemplo puede ser el caso del contenido de carbono y nitrógeno, así como su microestructura, el tamaño de grano, la presencia de inclusiones no metálicas y la rugosidad de la superficie, factores que se rigen por normas nacionales y en particular por el estándar ISO5832.



Los biomateriales deben cumplir con tres exigencias elementales: ser biocompatibles, resistir a la corrosión de los fluidos corporales y cumplir la función biológica o mecánica planeada. En la tabla anexa se presentan ejemplos de los cuatro tipos de biomateriales, sus propiedades y sus variadas aplicaciones primordiales.

INTERACCIÓN BIOMATERIAL – CUERPO HUMANO

El cuerpo humano está constituido por una estructura ósea rígida –el esqueleto–, siendo éste el soporte mecánico de los tejidos blandos: músculos, piel, mucosas y, por supuesto, los órganos: corazón, hígado, páncreas, pulmones, etc. Dentro y entre todos estos elementos se encuentran o circulan numerosos fluidos corporales como sangre, plasma, jugos gástricos, saliva, orina, etc. El fluido extracelular, localizado entre los diferentes tejidos, se mantiene a una temperatura de 37

°C, es una solución acuosa, salina, con conductividad eléctrica y pH 7.4, que contiene 1% de cloruro de sodio, así como cantidades menores de otras sales y componentes orgánicos. La saliva producida por diversas glándulas bucales es una solución acuosa compuesta por varias sales orgánicas e inorgánicas, ácidos orgánicos, proteínas, carbohidratos y lípidos, con una concentración total de 5 g/L y un pH 7.0. En la boca se produce un litro de saliva por día, utilizada principalmente durante la masticación de alimentos.

BIOCOMPATIBILIDAD

La propiedad trascendental en la interacción biomaterial–cuerpo humano es la biocompatibilidad, o sea, la ausencia de una reacción fisicoquímica perniciosa del biomaterial implantado con los tejidos y los fluidos biológicos corporales, también llamados soluciones fisiológicas. Un ejemplo: el implante no debe alterar la composición y las propiedades de los componentes de la sangre (glóbulos rojos y blancos, proteínas, lípidos) y tampoco coagular la sangre, para evitar trombos.

Las características de la superficie del implante: rugosidad, grado de pulido, porosidad, potencial eléctrico, humectación y comportamiento hidrofóbico o hidrófilo, son factores decisivos que afectan su compatibilidad y determinarán la interacción del implante con las bacterias y su capacidad de colonizar su superficie, puesto que éste es el primer contacto con el cuerpo humano que va a determinar el proceso de asimilación o rechazo del implante, así como la velocidad del proceso curativo y, finalmente, la falta o éxito de la implantación. La falta de biocompatibilidad induce a una reacción negativa entre el implante y su entorno biológico creando, en forma progresiva, irritación, inflamación o infección, a tal grado crítico que se debe remover el implante para evitar la destrucción de los tejidos o perjudicar la función de los órganos cercanos con graves consecuencias en la salud del paciente. Sin embargo, a veces es necesaria la interacción entre el implante y el tejido aledaño, cuando diminutas arterias o extremos de músculos penetran en los poros de un recubrimiento bioactivo de hidroxiapatita sobre implantes ortopédicos de titanio; con este contacto se establece un anclaje mecánico que evita el uso de una unión mecánica con clavos, tornillos, cemento cerámico o plástico.

La investigación y la aplicación en biomateriales involucra un amplio espectro de disciplinas: medicina, biología, química, física, mecánica, metalurgia, ingeniería, informática y computación

CORROSIÓN

La corrosividad interna del cuerpo humano es similar a la del agua de mar tibia, y causa muchas veces corrosión localizada en implantes metálicos, incluyendo picaduras, hendiduras y corrosión por esfuerzos. Cuando esto ocurre, los cationes metálicos y/o partículas metálicas ingresan y se derraman en el cuerpo ocasionando daños. En tales casos la aleación es clasificada como incompatible con el receptor (cuerpo humano). La compatibilidad es entonces un factor crucial, que asegura la no alteración,

por causa del implante, en el organismo que lo hospeda.

La corrosión es un fenómeno complejo que depende de varios parámetros del sistema implante-bioambiente, como son la geometría de diseño, metalúrgicos, mecánicos y químicos. Los productos de la corrosión se dispersan en el cuerpo humano y afectan los procesos biológicos, por ejemplo la actividad de los órganos y las enzimas. Además, los materiales plásticos y cerámicos se deterioran por procesos mecánicos como erosión, abrasión y desgaste por fric-

TABLA

BIOMATERIAL

PROPIEDADES

APLICACIONES

Metales y Aleaciones

Aceros inoxidables, aleaciones de Titanio (Ti), de cobalto (Co), Nitinol

Alta densidad, resistencia mecánica al desgaste, impacto, tensión y compresión, baja biocompatibilidad, resistencia a la corrosión

Implantes y fijaciones ortopédicas con tornillos, placas, alambres, varillas, clavos, implantes dentales

Cobre (Cu)

Se corroe en el útero

Dispositivos anticonceptivos

Amalgamas y aleaciones dentales

Biocompatibles con saliva

Implantes dentales y reparaciones.

Espirales vasculares elásticas (stents)

Biocompatibles con sangre

Reparación de venas y arterias

Plásticos (Polímeros)

Hule (goma) sintético
Polietileno, polipropileno, acrílicos, teflón

Baja densidad y resistencia mecánica, facilidad de fabricación, formación de biopelículas

Suturas, sustitución de arterias y venas, restauración maxilofacial: nariz, oreja, mandíbula, dientes; tendón artificial
Cirugía plástica estética

Dacron, Nylon (Poliéster)

Hilos de suturas

Cerámicos

Oxidos metálicos, alúmina (Al_2O_3), zirconia (ZrO_2), Titania (TiO_2), fibra de carbono, apatita artificial. Recubrimientos

Buena biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, inertes, alta resistencia a la compresión, alta densidad y dureza, dificultad de maquinado y fabricación

Caderas protésicas, dientes cerámicos, cementos

Compuestos

Metal cubierto con cerámica: Ti con hidroxiapatita porosa
Material cubierto con carbón o diamante

Buena compatibilidad, inertes, alta resistencia a la corrosión y a la tensión. Falta de consistencia en la fabricación del material

Implantes ortopédicos reforzados con fibras de carbono, válvula artificial cardiaca, restauración de articulaciones



ción. Las partículas sólidas de 1 a 50 micras que se desprenden de un implante metálico, plástico o cerámico pueden aflojar la unión implante-hueso hasta su falla y desintegración, forzando al cirujano a renovar el implante dañado. En ocasiones estas partículas se acumulan en órganos vitales como hígado, páncreas o riñones, con lo cual alteran sus funciones.

También los materiales dentales ubicados en la cavidad oral, en contacto con la saliva que contiene sales, por ejemplo sulfuros (5 ppm), corroen, manchan o empañan las amalgamas de plata y oro, así como las prótesis dentales; alterando el color natural del esmalte de los dientes. A veces, los alimentos ácidos como frutas o jugos cítricos con pH 3-4 incrementan la corrosividad del ambiente bucal.

Incluso es importante considerar la posibilidad de corrosión de instrumentos quirúrgicos fabricados con aceros inoxidable; los criterios para la evaluación y los ensayos de su resistencia se describen en el estándar ASTM F 1089. Los ensayos de corrosión son una herramienta valiosa para el fabricante al momento de seleccionar el material y el proceso de manufactura de los instrumentos. El

uso de aleaciones especiales en la medicina avanza de la mano con las nuevas tecnologías y procedimientos quirúrgicos de dicha disciplina, que utilizan diversos tipos de instrumental, algunos equipados con luz eléctrica y enlazados con sistemas de televisión que permiten observar en un monitor externo la operación interna que se está realizando.

APLICACIONES DE BIOMATERIALES

La ciencia y la tecnología de biomateriales han capturado un lugar prominente en la medicina moderna por su valor en la salud humana. Se considera como biomateriales a aquellos que son relativamente inertes en el ambiente natural del cuerpo humano y mantienen sus propiedades químicas, físicas y mecánicas en ese entorno biológico. Uno de los retos actuales es otorgar al biomaterial una funcionalidad prolongada en el cuerpo. Algunos materiales rehabilitan la estructura de los tejidos duros y realizan una acción mecánica, pero otros dispositivos más recientes cumplen una función esencial, por ejemplo las válvulas artificiales del corazón, que están en contacto directo con la sangre. Tres de las aplicaciones principales de los biomateriales son los implantes ortopédicos para reparación del sistema óseo; materiales dentales y los dispositivos anticonceptivos.

En la actualidad las ciencias veterinarias también utilizan los biomateriales para mejorar la calidad de vida en diferentes especies de animales. Los adhesivos tisulares son muy útiles en el campo de la ortopedia. Algunos se aplican en heridas y permiten una rápida cicatrización. Otros productos como granulados de hidroxapatita o material biodegradable de β -fosfato tricálcio se emplean para la restauración y reparaciones óseas. De esta manera, queda claro que la aplicación de biomateriales no es exclusiva del uso humano sino que también se extiende hacia las especies animales.

Profesionales involucrados en la rehabilitación: cirujanos, bioingenieros e ingenieros de operación y mantenimiento de instrumentos y equipos de quirófano, personal de laboratorio clínico y de las áreas de rehabilitación

IMPLANTES ORTOPÉDICOS

El estudio del comportamiento de los implantes ortopédicos está basado en la biomecánica, es decir, la mecánica aplicada a la biología en general y en particular al cuerpo humano, para entender su funcionamiento, postura y movimiento. La biomecánica se ocupa del aparato locomotor que depende de la interacción entre el esqueleto y los músculos; del desempeño mecánico del sistema cardiovascular y el flujo sanguíneo; contribuye a la optimización de las técnicas aplicadas en el entrenamiento y la práctica deportiva. Numerosas lesiones de deportistas se remedia mediante tratamientos e implantes ortopédicos temporales para ayudar en la recuperación de los tejidos originales o permanentes cuando el material implantado deberá permanecer de por vida para mantener la funcionalidad original requerida. En caso de accidentes viales y laborales traumáticos se requiere la implantación de elementos ortopédicos para devolver al cuerpo su capacidad de movimiento y de trabajo.

En este ámbito es usual incrementar los valores de fuerza mecánica de los implantes metálicos mediante tratamientos termomecánicos que crean una microestructura favorable, aumentando así su tenacidad, durabilidad y resistencia a la fractura por fatiga. Asimismo, se incrementa la dureza y la resistencia al desgaste de la superficie por fricción con el hueso, evitando que el implante se afloje en su posición, provocando inflamación y dolor. Este fenómeno ocurre a veces en implantes de las articulaciones de la rodilla y/o del codo, formados por materiales plásticos y metálicos. Durante este frotamiento se desprenden del implante partículas sólidas que podrían ser tóxicas o cancerígenas, según los metales involucrados. En verdad, no se conoce bien el impacto químicobiológico a largo plazo por la formación de complejos órgano-metálicos, posiblemente metal-proteínas provenientes de la degradación de los implantes.

La tabla anexa muestra los distintos biomateriales utilizados para fabricar implantes ortopédicos; nótese que para asegurar el éxito de un implante los factores críticos son el diseño adecuado conforme al lugar del implante y su función; la selección correcta del material según el ambiente químicobiológico y su futuro comportamiento mecánico.

MATERIALES DENTALES

Las amalgamas dentales para empastar y restaurar dientes están hechas principalmente de mercurio (43-54%) y porcentajes variables de plata, estaño y cobre (46-57%). En la odontología se discute si la amalgama libera mercurio en la cavidad bucal y acerca de su efecto tóxico, pero generalmente se considera que la amalgama es un cuerpo sólido compacto, insoluble que no aporta iones de mercurio. Estos materiales dentales son los que se emplean para corregir defectos estéticos y de salud oral en la dentadura y para producir prótesis fijas y removibles. La odontología aplica estos materiales en numerosas disciplinas: ortodoncia, protodoncia, pedodoncia, geriatría, etcétera.

Los materiales metálicos se utilizan para rellenar cavidades, para puentes, coronas, y alambres; los plásticos, para formar modelos de dentaduras; los cerámicos para rellenar las cavidades, a veces unidos a los dientes con resinas plásticas. En las últimas décadas se implantan piezas de titanio en el hueso de la mandíbula, sobre la cual se coloca un diente artificial cerámico. A veces



se recubre el diente postizo con una película delgada de hidroxiapatita que simula la composición química y la estructura del diente natural. Algunos materiales metálicos, plásticos y cerámicos se suministran en forma de polvos que se convierten en piezas sólidas por procesos de solidificación, polimerización o sinterización, bajo condiciones térmicas y mecánicas dependientes del tipo de material.

Los alimentos ricos en proteínas que contienen azufre pueden formar manchas oscuras sobre los dientes, que se remueven por pulido mecánico o limpieza química. Para asegurar la biocompatibilidad de los materiales dentales y su resistencia a la corrosión en la cavidad bucal, se llevan a cabo pruebas de corrosión en el laboratorio con saliva artificial, aplicando diversos métodos y técnicas, por ejemplo, ensayos electroquímicos de polarización, análisis con microscopía óptica y electrónica y estudio de biopelículas, entre otros.

DISPOSITIVOS ANTICONCEPTIVOS

La planificación familiar y el control de la natalidad mediante el uso de anticonceptivos

es una prioridad en numerosos países, en especial para México, con una población de 105 millones de habitantes. Por ello, la medicina conoce y aplica numerosos métodos anticonceptivos:

- **Biológicos:** que alteran procesos hormonales, ciclos menstruales, temperaturas corporales, etcétera.
- **Químicos:** que destruyen los espermatozoides, impiden la maduración del óvulo y, por tanto, su implantación en la pared del útero; esto, además del uso de fármacos, por ejemplo la píldora anticonceptiva.
- **Quirúrgicos:** como la vasectomía y la ligadura de las trompas de falopio.

La barrera física: es el método más antiguo con el cual se impide que el espermatozoide fecunde el óvulo, e incluye dispositivos como el condón masculino y el diafragma vaginal, fabricados con hule o plásticos flexibles. Sin embargo, conviene destacar que el único método 100% efectivo para evitar el embarazo, y sin efectos secundarios, es la abstinencia.

El dispositivo intrauterino (DIU) consiste en una espiral de cobre sobre una estructura



de plástico en forma de T; cuando se inserta en el útero, el DIU queda en contacto con el fluido intrauterino, de modo que el metal se corroe produciendo iones de cobre que impiden la fertilización del óvulo. Este es un método muy popular en México y en otros países de Latinoamérica, India, Asia, etc., por su precio reducido y su fácil manejo.

En nuestro país, hospitales y clínicas del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) promueven la aplicación de este dispositivo; sus ginecólogos lo colocan a las mujeres interesadas, orientándolas acerca de su uso y propiedades. Asimismo, en el Laboratorio de Corrosión y Materiales del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se realizan investigaciones para determinar el comportamiento del DIU en fluidos intrauterinos, naturales y artificiales, con el fin de obtener información acerca del mecanismo de corrosión electroquímica y sus parámetros, para asegurar su funcionamiento como contraceptivo.

- Schorr M., Valdez B., Alloys repair the human body, *Stainless Steel World*, September 1999.
- Valdez, B. et al., Corrosion of copper contraceptive intrauterine implants, *Corrosion Reviews*, 21, Núm. 2-3, 2003.
- Méndez, J. N., "Biomateriales: por un mayor promedio de vida", en *Ciencia y Desarrollo*, Septiembre-Octubre 2004.
- Davis, J. R., Ed., *Handbook of Materials for Medical Devices*, ASM Publication, 2003.

Benjamín Valdez Salas es ingeniero químico, maestro y doctor en química por la UAG, además de profesor en el Instituto de Ingeniería de la UABC y fundador/coordinador de la Red Nacional de Corrosión. Pertenece, desde 1996 al SNI y es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias.

Michael Schorr Wiener es licenciado en química y maestro en Ingeniería de Materiales por el Instituto Tecnológico de Israel. Su línea central de trabajo es el control de la corrosión en sistemas y ambientes industriales. Actualmente es asesor en el laboratorio de materiales y corrosión de la UABC, institución que recientemente le otorgó el grado de *Doctor Honoris Causa*.

Ernesto Valdez Salas es médico cirujano con especialidad en Cirugía General y Gastroenterología por la UAG. Se ha especializado en la reparación de paredes abdominales y otros tejidos, utilizando biomateriales reabsorbibles. Pertenece a los consejos nacionales de Cirugía y Gastroenterología de México y varias asociaciones médicas locales e internacionales.

Mónica Carrillo Beltrán es química farmacobióloga por la UABC y maestra en química por el Instituto Tecnológico de Tijuana. Actualmente realiza sus estudios de doctorado en química en la UABC, investigando sobre la corrosión microbiológicamente inducida en dispositivos intrauterinos de cobre.

Bibliografía recomendada

- Bronzino, J. D., Ed., *The Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press, 2000.
- Elias N., Mudali V. K., Editores Invitados, Biomaterials Corrosion. *Corrosion Reviews*, Vol. 21 No. 2-3, 2003.
- Niinomi et al., Editors, *Structural Biomaterials for the 21st Century*, The Minerals, Metals and Materials Society, 2001.



Ventas y suscripciones: 5322 7700 • exts. 3504, 4822 y 8150
 cienciaydesarrollo@conacyt.mx • helix@conacyt.mx