

**Parche administrador de insulina constante con glucómetro incluido para el control de
la diabetes mellitus**

Demetrio Manuel Roa Perdomo

Notas del autor

Demetrio Manuel Roa Perdomo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad
Autónoma de Nuevo León

Esta investigación ha sido financiada por el propio alumno

La correspondencia relacionada con esta investigación debe ser dirigida a Demetrio Roa
Universidad Autónoma de Nuevo León, Pedro de Alba S/N, Niños Héroes, Ciudad
Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.

Contacto: demetrio.roap@uanl.edu.mx

Introducción

Definición de la patología

La diabetes mellitus (DM) es un grupo de enfermedades metabólicas caracterizadas por hiperglucemia secundaria a un defecto absoluto o relativo en la secreción de insulina, que se acompaña, en mayor o menor medida, de alteraciones en el metabolismo de los lípidos y de las proteínas, lo que conlleva una afectación microvascular y macrovascular que afecta a diferentes órganos como ojos, riñón, nervios, corazón y vasos. La diabetes tipo 1 (DM1) corresponde a la entidad anteriormente denominada diabetes mellitus insulino dependiente o juvenil, en la que la destrucción de las células β del páncreas conduce a una deficiencia absoluta de insulina.

El metabolismo de los carbohidratos y su relación con la diabetes

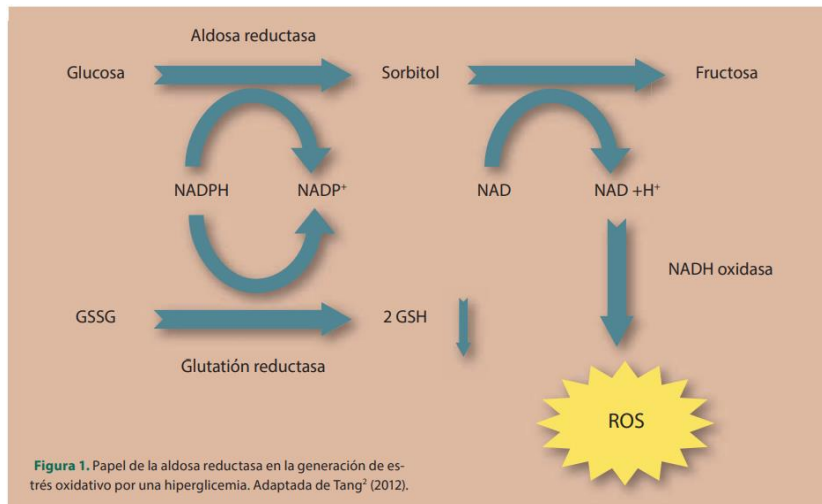
La principal fuente de energía que tienen las células son los carbohidratos; éstos se consumen ya sea como disacáridos o polisacáridos, se digieren y se separan en sus unidades monoméricas más simples. Entre los principales carbohidratos que consumimos en la dieta se encuentran el almidón (homopolisacárido formado por unidades de glucosa), la sacarosa (azúcar de mesa que es un disacárido de glucosa y fructosa), la lactosa (presente en la leche, formada por glucosa y galactosa). Éstos son digeridos para obtener los monosacáridos correspondientes y de esta forma son absorbidos en el intestino y transportados a través del torrente sanguíneo a los diferentes tejidos para que éstos los empleen en el metabolismo celular con el fin de obtener energía en forma de adenosín trifosfato (ATP) .

El valor de glicemia normal (normoglicemia) va desde 70 a 100 mg/dL (3.8-5.5 mmol/L), aunque después de comer, la concentración de glucosa en sangre alcanza valores de 130 a 150 mg/dL (7.2-8.3 mmol/L). Todas las células cuentan con transportadores de glucosa (Gluts) y éstos se encuentran distribuidos de acuerdo con el tipo celular, además de éstos pueden ser dependientes o independientes de insulina. Los transportadores independientes de insulina se encuentran expuestos de forma permanente en la membrana celular, por lo cual transportan a la glucosa. Tanto en los transportadores dependientes e independientes de glucosa el transporte está dado por diferencia del gradiente de concentración, por lo cual una vez que aumenta la concentración de glucosa en el interior de la célula, ésta podría salir a través del mismo transportador que la introdujo.

Para evitar este ciclo, la célula creó la estrategia de ‘fosforilar a la glucosa’ mediante la hexocinasa para formar a la glucosa-6-fosfato, y este metabolito no puede ser transportado fuera de la célula, lo que da lugar al inicio de la glucólisis. La glucólisis es la vía que permite obtener por cada molécula de glucosa 2 moléculas de ATP (ganancia neta), además de 2 equivalentes reductores en forma de nicotinamida adenin dinucleótido reducido ($\text{NADH} + \text{H}^+$) y 2 moléculas de piruvato. El piruvato es descarboxilado para entrar al ciclo de Krebs en forma de acetil coenzima A (acetil-CoA). El ciclo de Krebs genera, por cada molécula de acetil-CoA, 3 de $\text{NADH} + \text{H}^+$, una de flavín adenín dinucleótido (FADH_2) y una de trifosfato de guanosina (GTP).

Es importante recalcar que cada molécula de $\text{NADH} + \text{H}^+$ que alimenta a la cadena de transporte de electrones, da como resultado 2.5 moléculas de ATP, y cada FADH_2 , 1.5 moléculas de ATP. Una vez que se cubren las necesidades energéticas de la célula, la glucosa-6-fosfato empieza a utilizarse para formar glucógeno o bien ácidos grasos (como almacén de energía). Otra vía que emplea a la glucosa-6-fosfato es la de las ‘pentosas’; uno de sus metabolitos es el $\text{NAD(P)H} + \text{H}^+$; éste equivalente reductor puede ser utilizado en la biosíntesis de los ácidos grasos, así como en los sistemas antioxidantes y por la vía de los ‘polioles’.

Del 100% de glucosa que ingresa a la célula, el 97% es fosforilada por la hexocinasa, y la vía de los polioles se alimenta por la glucosa que no fue fosforilada para ser utilizada en la glucólisis. En 1956, esta vía fue descrita por Hers en la vesícula seminal, él describió cómo la glucosa se convierte en fructosa, que es la fuente de energía de los espermatozoides. Esta vía también ocurre en el ojo, el hígado, el riñón, el eritrocito, los testículos y en los músculos esquelético y cardíaco. La enzima limitante de esta vía es la ‘aldosa reductasa’ que está localizada en el citoplasma y requiere de $\text{NAD(P)H} + \text{H}^+$ para poder llevar a cabo su actividad (figura 1).



¿Qué es la vía de los polioles?

Vía metabólica a través de la cual se produce la conversión de glucosa en sorbitol merced al concurso de la enzima aldosa reductasa. El acúmulo intracelular de sorbitol y la deplección de mioinositol son alteraciones que poseen un papel reconocido en la etiología de la neuropatía diabética.

¿Cuándo se vuelve un problema la vía de los polioles?

En condiciones de hiperglucemia (como en el caso de la diabetes mellitus), el 30% de la glucosa no es fosforilada por la hexocinasa y se dirige a la vía de los polioles, lo que genera sorbitol y posteriormente fructosa. En este paso se requiere a la sorbitol deshidrogenasa, que emplea como coenzima NAD⁺ y produce NADH+H⁺ ; la fructosa es fosforilada por la hexocinasa y genera fructosa-6-fosfato y debería seguir hacia la vía glucolítica, pero esto no sucede, ya que la glucólisis se encuentra inhibida a nivel de la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa, la inhibición se debe tanto a los altos niveles de NADH+H⁺ como a que es una enzima sensible a la presencia de radicales libres. La vía de los polioles contribuye a generar un exceso de radicales libres, ya que la primera enzima, la ‘aldosa reductasa’, requiere de NAD(P)H para su actividad, pero esta coenzima reducida la emplea el sistema antioxidante del glutatión y si no se puede regenerar el glutatión reducido, el sistema deja de funcionar .

Por otro lado, ocurre la reacción de sorbitol a la fructosa y el NADH+H⁺ producido es utilizado por la NADH oxidasa, que origina anión superóxido y por último, el exceso de fructosa puede

transformarse en fructosa-3-fosfato y 3-deoxyglucosona, que resulta ser un metabolito no utilizable por la vía glucolítica, lo que da como resultado que se acumulen los metabolitos, mismos que ocasionan daño en diversos órganos y tejidos.

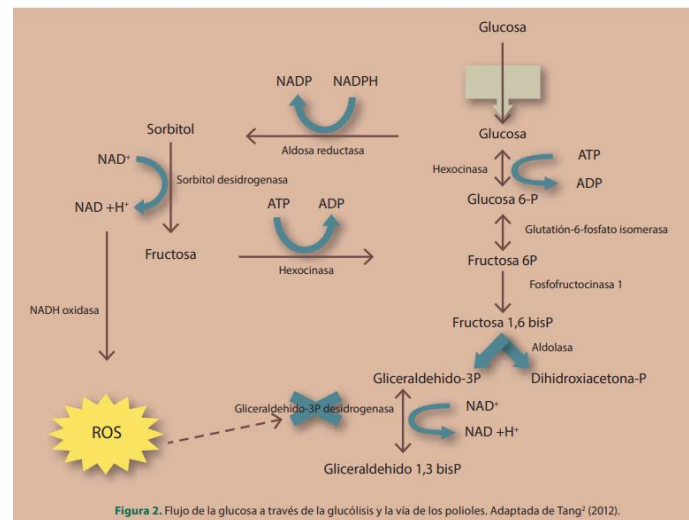


Figura 2. Flujo de la glucosa a través de la glucólisis y la vía de los polioles. Adaptada de Tang² (2012).

Datos epidemiológicos

La DM ha alcanzado proporciones epidémicas, afectando a 5,1% de los individuos de 20 a 79 años de edad a nivel mundial, siendo la DM tipo 2 (DM2) responsable del 90% de los casos (1-4). A pesar de los avances en el tratamiento y prevención, la prevalencia de la diabetes ha aumentado de manera más drástica de lo esperado: en 1997 había 120 millones de diabéticos en el mundo y se esperaba que la cifra alcanzaría a 150 millones en el año 2000; sin embargo llegó a 177 millones de personas, lo que proyectado a 2025 entrega una estimación de 333 millones de personas con DM. Para ese entonces, Chile estará entre las diez naciones con el mayor número de casos en el mundo

Si bien el número de personas afectadas por esta enfermedad ha aumentado en todo el mundo, el análisis de los millones de casos proyectados para 2025 a partir de datos del año 2000 indica que Latinoamérica será una de las zonas con mayor incremento, 148%, a diferencia de los Estados Unidos donde se espera un aumento de 48% (7).

En Asia también se ha observado un importante incremento de la prevalencia de la diabetes, pero a diferencia de otros lugares este fenómeno no se asocia a obesidad, lo que sugiere que hay factores genéticos que predisponen a las personas a sufrir esta enfermedad. En China y Japón las personas que desarrollan la diabetes tienen un índice de masa corporal (IMC) de 22. En Chile la enfermedad se presenta en personas con IMC de 26; no obstante, aunque la prevalencia de sobrepeso u obesidad en Chile alcanza a 50% de la población según datos de la Encuesta Nacional de Salud, la diabetes afecta a sólo 4,2% de ésta (8-11).

Cuadro clínico

La Diabetes Mellitus puede iniciar de forma brusca (generalmente la de tipo 1) o de forma insidiosa (más frecuente la de tipo 2) con escasos síntomas, siendo normalmente detectada al diagnosticar una de sus complicaciones. A pesar de esto, la mayoría de las personas con este padecimiento suelen presentar ciertos síntomas y características generales, aunque si entramos a un nivel más específico, de acuerdo al tipo de Diabetes Mellitus que se padezca, también se presentan síntomas específicos además de los generales.

Síntomas generales de la Diabetes Mellitus
<ul style="list-style-type: none"> ● Mucha sed (polidipsia). ● Sensación de mucha hambre (polifagia). ● Necesidad de orinar continuamente, incluso de noche (poliuria). ● Pérdida de peso, a pesar de comer mucho. ● Cansancio. ● Visión borrosa. ● Hormigueo o entumecimiento de manos y pies. ● Infecciones fúngicas en la piel recurrentes.

Tipo de Diabetes Mellitus	Síntomas específicos
Diabetes Mellitus Tipo 1	<ul style="list-style-type: none"> ● Incontinencia urinaria en niños que anteriormente

	<p>no mojaban la cama durante la noche.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Irritabilidad y otros cambios de humor. ● Fatiga y debilidad.
Diabetes Mellitus Tipo 2	<ul style="list-style-type: none"> ● Llagas que tardan en sanar. ● Infecciones frecuentes. ● Zonas de piel oscurecida, por lo general en axilas y cuello. ● En casos extremos, al presentarse por primera vez la diabetes tipo 2, se puede experimentar como un estado hiperosmolar o como una cetoacidosis diabética.

Diagnóstico

El diagnóstico para la Diabetes Mellitus consta de tres fases: el interrogatorio, los exámenes físicos y los exámenes complementarios.

- **Interrogatorio**

En esta primera fase del diagnóstico se le va a realizar una anamnesis al paciente. En esta se indaga sobre los antecedentes patológicos familiares y personales del paciente, para saber si este tiene una tendencia genética hacia esta enfermedad, se le pregunta si ha experimentado factores de riesgo relacionados con esta enfermedad, se cuestiona sobre su ingestión común de sustancias diabetogénicas, así como los síntomas clásicos: poliuria, polidipsia, polifagia, pérdida o aumento de peso y astenia.

En ciertos casos las personas con diabetes mellitus presentan síntomas físicos, así que también se les pregunta si han experimentado infecciones cutáneas recidivantes, vulvovaginitis, balanopostitis, retraso en la cicatrización de las heridas y acroparestesias.

- **Exámenes físicos**

Están encaminados a buscar ciertas características físicas, en ciertas partes de nuestro cuerpo normalmente presentadas en gente con Diabetes Mellitus, siendo estas:

- Mucosas: observar si hay enrojecimiento, que pueda obedecer a procesos sépticos, hiperpigmentaciones, erosiones o úlceras.
- Aparato cardiovascular: tomar la tensión arterial y el pulso, para compararla con los rangos normales.
- Boca: precisar caries, candidiasis, enfermedad periodontal, queilitis comisural, etc.
- Piel: buscar palidez, rubicundez, cianosis, lesiones interdigitales, aumento o disminución de la temperatura, xantomas cutáneos y xantelasma.
- Uñas: detectar micosis.
- Tejido celular subcutáneo: buscar infiltración por edemas.
- Tiroides: detectar posible aumento de la glándula.
- Sistema arterial periférico: precisar los pulsos pedios y tibial posteriores.
- Medidas antropométricas: se mide la talla en centímetros y el peso en kilogramos, para calcular el índice de masa corporal. Si no es posible determinarlo, se considera, al menos, utilizar la fórmula tradicional de Broca.
- Sistema osteomioarticular: buscar deformidades podálicas.
- Examen neurológico: se utilizará el martillo percutor para explorar la reflectividad patelar y aquiliana. Deberá explorarse la sensibilidad táctil, térmica y dolorosa en las zonas más frecuentemente afectadas, como los miembros inferiores, también expresión de neuropatía periférica.
- Fondo de ojo: detectar retinopatías.

- **Exámenes complementarios**

Son usados para confirmar al cien por ciento si el paciente tiene Diabetes Mellitus, por lo que, si existen síntomas físicos de diabetes, sólo es necesario realizar una de las siguientes pruebas, con valores bioquímicos compatibles con la enfermedad, para confirmar el diagnóstico.

- Glucemia en ayunas: 7 mmol/L o más (126 mg/dL).
- Glucemia posprandial: 11,1 mmol/L o más (200 mg/dL).
- Prueba de tolerancia a la glucosa oral (PTG-O): en ayunas 7 mmol/L o más (126 mg/dL) y a las 2 horas es 11,1 mmol/L o más (200 mg/dL).

Tratamiento

La diabetes Mellitus es una enfermedad que actualmente no tiene cura, por lo que su tratamiento se concentra primordialmente en:

- Controlar la concentración de glucosa en sangre para mantenerla dentro de los rangos normales.
- Conseguir un metabolismo lo más cercano posible a uno normal.
- Controlar los factores de riesgo como: obesidad, hiperlipoproteinemia, hipertensión arterial, hiperinsulinismo, hábito de fumar y alcoholismo.
- Defender la reserva pancreática de insulina.
- Evitar o retrasar la aparición de las complicaciones crónicas de la diabetes.
- Rehabilitar a los pacientes con secuelas de las complicaciones.

Esto siendo posible por medio de tres pilares: buena alimentación, realización de ejercicio y medicación.

- **Buena alimentación:**

Se logra distribuyendo las calorías totales de la forma siguiente: de 55-60 % de carbohidratos, de 15-20 % de proteínas y de 25-30 % de grasas, restringiendo las grasas saturadas ricas en colesterol a menos de 10 % y los ácidos poliinsaturados hasta 10 %, consumiendo carbohidratos en forma de azúcares no refinados y asegurando una ingesta de alimentos ricos en fibras, vitaminas y minerales.

- **Realización de ejercicio:**

Se tendrá que cambiar el hábito sedentario mediante caminatas diarias, al ritmo conveniente para la persona. Se debe de ir aumentando el ritmo y el tiempo de la caminata con el paso del tiempo, esto solo si se realizan pruebas médicas, donde se muestre que la actividad física no ocasiona ninguna complicación. El objetivo final es mantener una rutina de ejercicio con 5 a 10 minutos de calentamiento, que luego continúa con ejercicios aeróbicos de resistencia durante 20 a 30 minutos y que termina con ejercicios más ligeros para el enfriamiento por 15 a 20 minutos.

- **Medicación:**

-En el caso de la Diabetes Mellitus tipo 1, la insulina va a ser el único fármaco por consumir, la necesidad diaria y forma de administración de la insulina varían de un paciente a otro, pero por lo general la dosis diaria es entre 0,1-0,3 U/kg/día y se puede modificar de acuerdo con las necesidades y características de cada paciente en particular. Hoy en día, la insulina solo puede ser administrada por medio de una inyección, ya sea con plumas de insulina o con sistemas de infusión continua (bombas de insulina).

-En el caso de la Diabetes Mellitus tipo 2, se tiene un rango más grande de opciones, incluso llegando a la opción de no necesitar medicamento. Si no se logra controlar la

enfermedad por medios no farmacológicos, se recomienda ingerir fármacos hipoglucemiantes orales como: sulfonilureas, biguanidas, inhibidores de las alfa glucosidasas, tiazolidinedionas (glitazonas) y metiglinidas. También se pueden consumir inhibidores de la dipeptidilpeptidasa 4, que mejoran la secreción de la insulina inducida por la glucosa sin provocar hipoglucemia o ganancia de peso como: la sitagliptina, la vildagliptina y la saxagliptina. Su uso normal puede ser individual o combinados con metformina.

Antecedentes

Al ser la diabetes un problema, el cual ha sido conocido por la humanidad desde tiempos que incluso llegan a preceder a Cristo, es solo lógico que una variedad de tratamientos se hayan desarrollado para tratar esta enfermedad, sin embargo no fue hasta tiempos más modernos, y específicamente cuando se descubrió el papel del páncreas, y más específicamente el de la insulina en esto, que se empezaron a desarrollar métodos más científicos para tratarlo, culminando en 1982, cuando la primera insulina humana biosintética - Humulin - que es idéntica en estructura química a la insulina humana, fue aprobada para ser producida y comercializada en serie en varios países.

Para los propósitos de demostrar las distintas bases que han sido asentadas a lo largo de los años que han dirigido indirectamente a la creación de nuestro proyecto, mencionaremos 4 tecnologías en el tratamiento de la diabetes que consideramos clave para nosotros:

1. Bomba de Insulina:

La bomba de insulina es un pequeño dispositivo del tamaño de un teléfono móvil que administra insulina de forma continuada. Consta fundamentalmente de dos partes: el infusor de insulina y el catéter de conexión.

El infusor propiamente dicho es una microcomputadora que ha sido programada previamente para infundir insulina de manera continua las 24 horas del día. Se compone básicamente de

una pantalla, una batería, unos botones y un reservorio de insulina. Utiliza análogos de insulina de acción rápida.

El catéter de conexión es un fino tubo de plástico que conecta la bomba con el tejido subcutáneo (debajo de la piel). Este catéter termina en una cánula de plástico que está localizada debajo de la piel. Allí será donde se deposite la insulina administrada por la bomba.

2. Glucómetro:

Un glucómetro es un aparato que mide la concentración de glucosa que hay en una gota de sangre y permite saber si los niveles de glucosa están dentro del rango considerado ideal.

Además, por su pequeño tamaño permite ser transportado de forma sencilla.

La gota de sangre se obtiene del dedo mediante un pequeño pinchazo con un instrumento llamado pinchador, dentro del cual hay una aguja denominada lanceta.

Las tiras reactivas para glucómetro son pequeños trozos de plástico que en un pequeño espacio disponen de los elementos reactivos necesarios para que, al entrar en contacto con la sangre, reaccionen de forma que permita determinar químicamente la cantidad de glucosa en sangre.

El tiempo de espera máximo para obtener los resultados de esta prueba es de 45 segundos.

3. Parche de insulina:

En Julio de 2015 un proyecto de investigación de North Carolina State University y de University of North Carolina apuntó a poder reemplazar en el futuro el uso de las inyecciones de insulina con parches. Esto gracias a que el doctor Zhen Gu, el entonces profesor del Departamento Conjunto de Ingeniería Biomédica de ambas universidades, adelantó que el parche se probó con éxito en ratones y otros animales, y cuyos resultados fueron publicados en la revista The National Academy of Sciences.

Esto fue posible ya que encontraron la manera de incorporar más de 100 microagujas en un parche más pequeño que una moneda de 10 centavos de dólar. Cada microaguja contiene insulina y enzimas que detectan cuándo cambia el nivel de glucosa en sangre, este dispositivo replicaba la función de las células beta o de sus vesículas internas para activar el dispositivo cuando aumenta la glucosa en sangre y, así, liberar la insulina rápidamente, con la única desventaja de tener una duración de aproximadamente 9 horas.

Y a pesar de que se trata de un proyecto, aún en fase experimental, la Universidad de California en Los Ángeles, la Universidad de Carolina del Norte y el MIT, en Abril de 2020, con el liderazgo del doctor Zhen Gu, ahora profesor de Bioingeniería en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de California en Los Ángeles, revelaron una revisión del proyecto previamente mencionado, anunciando con esto que se había mostrado su efectividad para el tratamiento de la diabetes Tipo 1 en ratones y cerdos, así como la nueva ventaja de que ahora este llegaba a mantener los niveles de glucosa estables hasta por 20 horas.

4. Apps móviles:

Gracias al desarrollo de los teléfonos inteligentes, así como el incremento continuo de desarrolladores independientes de aplicaciones móviles, era cuestión de tiempo para que llegaran una serie de aplicaciones especializadas en el tratamiento de enfermedades varias, entre ellas, la diabetes.

Esta nueva revolución ha sido llamada la mHealth, consiste en el uso de dispositivos móviles, como son los smartphones, PDAs y aparatos para el seguimiento de pacientes, para la práctica médica y la sanidad pública.

Las apps existentes acerca de la diabetes pueden cumplir múltiples objetivos: desde supervisar el nivel de glucosa en sangre, hasta informar de los niveles de azúcares que están presentes en los alimentos, algunas de estas aplicaciones incluyen:

- Social Diabetes: una especie de “diario digital” donde el paciente puede registrar su dieta, indicando los alimentos que ha ingerido, así como incorporando la cantidad de insulina suministrada ese día. En función de la información proporcionada por el usuario, la aplicación emite una serie de recomendaciones. E incluso, si en función de los datos indicados considera que existe la posibilidad de sufrir una hipoglucemia nocturna, alerta al usuario gracias a sus sistema inteligente
- GluQUO: Similar a la anterior, actúa como una especie de registro diario, la principal característica de esta aplicación, sin duda, la encontramos en la “calculadora de bolos”. La propia app, en atención a la información proporcionada por el usuario, recomienda qué cantidad de insulina debe administrarse el paciente
- FEDEdiabetes: actúa como una especie de agenda donde el paciente puede configurar una alarma-recordatorio para que le avise de cuándo tiene cita con su médico, o cuándo debe administrarse insulina
- One Drop: permite establecer un control de la enfermedad a través de diferentes registros: el de glucosa, el de comida, el de medicación y el de la actividad física realizada. Lo característico de esta aplicación es que cuenta con una comunidad de intercambio de información entre usuarios. De este modo, la app permite que los usuarios interactúen entre ellos, pudiendo así realizar recomendaciones o compartiendo experiencias propias

Justificación

Las ventajas de tener un parche que suministra insulina son muchas, ya que de esta forma tenemos un dispositivo portátil que sustituye a las convencionales inyecciones, lo cual nos permite evitar los pinchazos recurrentes teniendo el parche las 24 horas del día puesto. En dado caso que llegase a faltar insulina, podemos agregarla al parche sin ningún problema,

sabiendo que la insulina se encuentra en buen estado. Además del parche, otro de los beneficios que representa un valor agregado para nuestra propuesta es la inclusión de sensores que nos permitan tener un control de los niveles de glucosa en la sangre, la forma en que analizaremos esto es mediante un circuito a elaborarse con los siguientes materiales:

- Placa controladora Arduino Pro Mini 328 (Costo aproximado: \$ 90 noventa pesos mexicanos)
- Módulo Bluetooth HC05 (Costo aproximado: \$85 ochenta y cinco pesos mexicanos)
- Transmisor de luz infrarroja con Módulo (Costo aproximado: \$60 sesenta pesos mexicanos)
- Receptor infrarrojo (Costo aproximado: \$80 ochenta pesos mexicanos)

Como alternativa al receptor y al emisor infrarrojo, tenemos (con la consideración de la posible eficacia del mismo):

- Sensor de reflexión infrarroja (Costo aproximado: \$40 cuarenta pesos mexicanos)

En los materiales no consideramos: una banda elástica que permita el almacenaje de los componentes, también cables y soldadura. Esto debido a su muy bajo costo y su fácil alcance.

El funcionamiento del sistema sería basándonos en la fotopletismografía que nos permite analizar la absorción de luz, previamente emitida por un emisor, que es recibida por un receptor el cual mediante la programación adecuada y conociendo cómo afecta los niveles de glucosa a la absorción de la luz por parte del receptor, podemos identificar tales valores de manera que podamos cuantificar los niveles de glucosa en sangre mediante esta técnica.

La técnica específicamente se basa en la reflexión de la luz ya que el emisor emite una luz que se ve interrumpida por las moléculas que contiene la sangre. Posteriormente, el receptor,

recibe la luz y analiza las interrupciones que hubo de manera que podamos cuantificar las mismas.

Las ventajas de nuestra propuesta son principalmente los costos en los que nos queremos basar para crear nuestro prototipo de manera que con estudios posteriores podamos mantener los costos accesibles, con una eficacia alta y un desempeño aceptable.

Objetivo

El objetivo de nuestra propuesta es el de hacer un parche administrador de insulina constante con glucómetro incluido, y con ese parche, reemplazar las inyecciones de insulina, también se busca que el parche sea más cómodo y que los materiales resistan más para tener un mejor tiempo de vida. Con el glucómetro cuando registre niveles muy altos de glucosa el parche puede calcular las unidades necesarias de insulina y administrarlos en un cartucho de emergencia previamente cargado.

Propuesta

Se propone el realizar un parche el cual contenga múltiples agujas de 0.5mm de longitud, las cuales perforarán hasta los vasos sanguíneos ubicados en las papilas dérmicas, se utilizó esta medida para evitar las molestias de inyectarse insulina y tomando en cuenta que una aguja de 6 mm según testimonios genera un dolor similar al de un pellizco este parche debería generar un dolor mucho menor o incluso ninguno, produciendo una molestia similar a la comezón; mediante éstos se suministrará insulina de liberación prolongada, esta vendría en un pequeño cartucho reutilizable con una composición similar a un vaso Dewar (fig 1), o termo, el cuál mantendrá la insulina en su temperatura recomendada durante 24 horas, por lo cual deberá ser puesto en refrigeración diariamente, sin embargo este se recargará en un periodo mayor

dependiendo de la cantidad de insulina que requiera la persona, pues este tendrá capacidad para 3 ml de insulina, es decir 300 unidades, por lo que, por ejemplo, una persona que requiera 30 unidades al día lo recargará después de 10 días. Este cartucho tendría un tamaño similar al de una moneda de 10 pesos, siendo esta un poco más pequeña. El parche duraría solamente 2 semanas en la piel para evitar el riesgo de una infección pues a pesar de ser un parche sigue perforando la piel. El parche se podría colocar en dos lugares del cuerpo, el abdomen o el brazo a la altura del deltoides.

De igual manera tendrá un glucómetro integrado al cartucho de insulina el cual mediría los niveles de glucosa cada 5 minutos, estos niveles se podrían consultar en una aplicación para smartphone vía bluetooth la cual emitirá una alarma si los niveles de glucosa llegan a ser mayores a 200 mg/dl y calculará la cantidad de unidades de insulina de acción rápida que se requiera, los cuales podrían venir en un cartucho secundario para hacerla más portátil para que, en dado caso de que dichos niveles se alcancen en un lugar fuera de la casa de la persona, se tenga a la mano y se aplique.

Conclusión

Como equipo podemos concluir que aunque fue un poco difícil pensar en alguna innovación o mejora a los dispositivos que ya existen en el mercado que compiten para brindar comodidad y un buen desempeño a pacientes con diabetes. Pudimos ampliar nuestros conocimientos de manera que fuimos capaces de hallar un área de oportunidad en los dispositivos existentes para el manejo de la insulina y el control y monitoreo de la glucosa en sangre. Los principales retos que se nos presentaron como ya se mencionó, fueron idear algo que en nuestra perspectiva pudiera ayudar y mejorar la calidad de vida de estos pacientes, el entender las inmensas posibilidades que nos brinda el cuerpo humano para ser analizado al mismo tiempo que es una ventaja, también es una desventaja ya que tenemos que considerar diversos aspectos para poder obtener un buen y correcto análisis, en este caso de la glucosa y

de la absorción de insulina. También fue difícil considerar aspectos o problemas que pudieran llegarse a presentar en el dispositivo como la falta de insulina en el parche o la duración de la misma, aspecto que nos llevó a investigar más acerca de la composición y los cuidados que esta hormona debe tener para que pueda ser introducida al cuerpo. Nuestra propuesta la definimos como una posibilidad de mejora y de unión a algo que se está desarrollando y se puede mejorar tanto en eficacia y principalmente en costos y accesibilidad. Creemos que con el apoyo necesario y la investigación podemos llegar a desarrollar un muy buen proyecto, crear un prototipo y continuar con las mejoras para posteriormente poder ofrecerlo al público. Entendemos que el mercado de los dispositivos médicos es muy grande y demandante y por eso creemos que esa es nuestra área de oportunidad, el desarrollo y el apoyo de investigadores que nos ayuden a mejorar nuestra propuesta y juntos poder mejorar la calidad de la vida de las personas.

Referencias bibliográficas

- Aller EE, Abete I, Astrup A, Martinez JA, van Baak MA. Starches, sugars and obesity. *Nutrients*. 2011;3(3);341-69.
- American Diabetes Association. Insulin administration. *Diabetes Care*. 2004 Jan;27 Suppl 1:S106-9. [DOI 10.2337/diacare.27.2007.s106] [Consulta: 05/05/2017]
- Campus Sanofi. (2020, 8 septiembre). Nuevas tecnologías en el tratamiento y control de la Diabetes. Recuperado 11 de mayo de 2021, de <https://campussanofi.es/e-professionals/noticias/diabetes-tecnologia/>
- Campus Sanofi. (2020a, septiembre 1). ¿Cuáles son las mejores apps de diabetes? Recuperado 11 de mayo de 2021, de <https://campussanofi.es/smart-care/noticias/cuales-son-las-mejores-apps-de-diabetes/>
- Cardona, R. (2020). Bomba de insulina. Fundación para la Diabetes Novo Nordisk, Madrid: España. Disponible en: <https://www.fundaciondiabetes.org/infantil/185/bomba-de-insulina-ninos>
- Celi, G., Rocha, M., & Yapur, M. (2011). Mediciones fotopletismográficas.
- Center for Drug Evaluation and Research. (2017, 21 septiembre). Información sobre el almacenamiento de insulina y el cambio entre productos durante una emergencia. U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/drugs/emergency-preparedness-drugs/informacion-sobre-el-almacenamiento-de-insulina-y-el-cambio-entre-productos-durante-una-emergencia#:~:text=Nota%3A%20La%20insulina%20pierde%20cierta,la%20sangre%20con%20el%20tiempo.>

Frandino, N. R. (2015, 17 julio). Crean parches de insulina que podrían reemplazar a las inyecciones en el tratamiento de la diabetes. Scientific American - Español. Recuperado de <https://www.scientificamerican.com>

Grupo de trabajo de la Guía de Práctica Clínica sobre Diabetes mellitus tipo 1. Guía de Práctica Clínica sobre Diabetes mellitus tipo 1. Plan de Calidad para el Sistema Nacional de Salud del Ministerio de Sanidad y Política Social. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del País Vasco-Osteba; 2012. Guías de Práctica Clínica en el SNS: OSTEBA n.º 2009/10 [https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC_513_Diabetes_1_Osteba_compl.pdf]

Grupo de trabajo de la Guía de Práctica Clínica sobre Diabetes mellitus tipo 1. Guía de Práctica Clínica sobre Diabetes mellitus tipo 1. Plan de Calidad para el Sistema Nacional de Salud del Ministerio de Sanidad y Política Social. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del País Vasco-Osteba; 2012. Guías de Práctica Clínica en el SNS: OSTEBA n.º 2009/10 [https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC_513_Diabetes_1_Osteba_compl.pdf]
[Consulta: 05/05/2021]

Hossain P, Kavar B, El Nahas M. Obesity and diabetes in the developing world--a growing challenge. N Engl J Med. 2007 Jan 18;356(3):213-5. | CrossRef | PubMed |

King H, Aubert RE, Herman WH. Global burden of diabetes, 1995-2025: prevalence, numerical estimates, and projections. Diabetes Care. 1998 Sep;21(9):1414-31. | CrossRef | PubMed |

López, G. (2009). Diabetes mellitus: clasificación, fisiopatología y diagnóstico.

Medwave, 9(12).

Mandal, A. (2019, 4 junio). Historia de la diabetes. Recuperado 11 de mayo de 2021,

de [https://www.news-medical.net/health/History-of-Diabetes-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/History-of-Diabetes-(Spanish).aspx)

Mayo Clinic. (2021, 27 marzo). *Diabetes tipo 1 - Síntomas y causas*.

[https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/type-1-](https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/type-1-diabetes/symptoms-causes/syc-20353011)

[diabetes/symptoms-causes/syc-20353011](https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/type-1-diabetes/symptoms-causes/syc-20353011)

McCulloch DK. General principles of insulin therapy in diabetes mellitus. This topic

last updated: Oct 20, 2016. In: Uptodate, Charles J Lockwood (Ed),

UpToDate, Waltham, MA, 2017.

Mella I, García de los Ríos M, Parker M, Covarrubias A. Prevalence of diabetes

mellitus in Santiago, Chile. *Rev Med Chil*. 1981 Sep;109(9):869-75. | PubMed

|

Mueckler M, orens B. Glucose transporters in the 21st Century. *Am. J. Physiol.*

Endocrinol. Metab. 2010;298(2): E141-E145.

Pérez Rodríguez, A., & Berenguer Gouarnaluses, M. (2015). Algunas consideraciones

sobre la diabetes mellitus y su control en el nivel primario de salud. *Medisan*,

19(3), 375-390.

Ponce, I. G. (2021, 16 febrero). *Diabetes*. CuidatePlus.

[https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/digestivas/diabetes.html#:~:te](https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/digestivas/diabetes.html#:~:text=Entre%20los%20posibles%20s%C3%ADntomas%20de,incluso%20de%20noche%20(poliuria).)

[xt=Entre%20los%20posibles%20s%C3%ADntomas%20de,incluso%20de%20](https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/digestivas/diabetes.html#:~:text=Entre%20los%20posibles%20s%C3%ADntomas%20de,incluso%20de%20noche%20(poliuria).)

[noche%20\(poliuria\).](https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/digestivas/diabetes.html#:~:text=Entre%20los%20posibles%20s%C3%ADntomas%20de,incluso%20de%20noche%20(poliuria).)

Quiroz Gutiérrez, F. (2012). Tratado de Anatomía Humana (43.a ed., Vol. 1). Porrúa.

Redacción Médica. (s. f.). *Diabetes mellitus tipo 2: causas, síntomas y tratamiento*.

Recuperado 12 de mayo de 2021, de

[https://www.redaccionmedica.com/recursos-salud/diccionario-](https://www.redaccionmedica.com/recursos-salud/diccionario-enfermedades/diabetes-mellitus-tipo-2#:~:text=Poliuria%20(orinar%20mucho)%2C%20polidipsia,sea%20eliminada%20por%20la%20orina.)

[enfermedades/diabetes-mellitus-tipo-](https://www.redaccionmedica.com/recursos-salud/diccionario-enfermedades/diabetes-mellitus-tipo-2#:~:text=Poliuria%20(orinar%20mucho)%2C%20polidipsia,sea%20eliminada%20por%20la%20orina.)

[2#:~:text=Poliuria%20\(orinar%20mucho\)%2C%20polidipsia,sea%20eliminada%20por%20la%20orina.](https://www.redaccionmedica.com/recursos-salud/diccionario-enfermedades/diabetes-mellitus-tipo-2#:~:text=Poliuria%20(orinar%20mucho)%2C%20polidipsia,sea%20eliminada%20por%20la%20orina.)

SaluDigital, R. (2020, 27 abril). Un nuevo parche administra insulina a medida que

aumenta la glucosa en sangre. Saludigital. Recuperado de

<https://www.consalud.es>

Sistemas de monitorización continua de glucosa. (2016, 30 mayo). Recuperado 6 de mayo de 2021, de

<https://www.fundaciondiabetes.org/general/articulo/173/sistemas-de-monitorizacion-continua-de-glucosa>

Tang WH, Martin KA, Hwa J. Aldose reductase, oxidative stress and diabetic mellitus. *Front Pharmacol*. 2012;3:87.

Vázquez, S. (2020). Salud: qué es y cómo funciona un glucómetro. *Sabes Aprender*.

Disponible en: <http://sabesaprender.com/como-funciona-un-glucometro/>

Villena Gonzales, W., Mobashsher, A. T., & Abbosh, A. (2019). The progress of glucose monitoring—A review of invasive to minimally and non-invasive techniques, devices and sensors. *Sensors*, 19(4), 800.

WHO. World Health Organization. Ginebra, Suiza: WHO, 2011. | [Link](#) |

Zimmet P, Alberti KG, Shaw J. Global and societal implications of the diabetes epidemic. *Nature*. 2001 Dec 13;414(6865):782-7. | [CrossRef](#) | [PubMed](#) |