



## Propuesta de un medidor de glucosa no invasivo, basado en la metodología del programa de Células de Innovación

\*E. E. Montijo-Valenzuela<sup>1</sup>, E. Teshiba-Gutierrez<sup>2</sup>, M. E. Ruiz-Ramos, F. Ramírez-Torres<sup>1</sup>, A. Cerón-Franco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de metal-mecánica, <sup>2</sup>Departamento de ciencias básicas, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, Hermosillo, Sonora., México

\* elielmontijo@gmail.com

*Resumen*— En este trabajo de investigación se realiza una propuesta de un medidor de glucosa no invasivo, mediante mediciones digitales con glucómetro de saliva. La metodología empleada para realizar el análisis y selección del modelo, está basada en el programa de Células de Innovación de la Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN), en donde participa la empresa Aarson Productos Hospitalarios y el Instituto Tecnológico de Hermosillo. Se presentaron 3 conceptos de glucómetro; uno electromagnético, uno óptico y uno de saliva, los 3 con la cualidad de no ser invasivos y portátiles, con características dimensionales muy similares. Al realizar un análisis cuantitativo y cualitativo (basado en la metodología mencionada), se optó por el modelo de saliva, como decisión de por parte de la empresa y el equipo de trabajo.

*Palabras clave*— Glucómetro no invasivo, saliva, células de innovación

### I. INTRODUCCIÓN

La glucosa es un carbohidrato utilizado en su forma más básica por el metabolismo humano, sirviendo como fuente de energía para plantas y animales, pudiéndola encontrar en la savia de las plantas o el torrente sanguíneo de los humanos [1]. El exceso de glucosa en sangre, provocado por déficit de la cantidad o en la utilización de insulina por el organismo, provoca la diabetes [2], una enfermedad crónica, que puede ser controlada con los tratamientos adecuados.

Aualmente, 1.5 millones de personas mueren por diabetes en todo el mundo, siendo la séptima causa de mortalidad para el 2030, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3].

En la actualidad, en la rama de la medicina se emplean sistemas portátiles de medición de analitos bioquímicos, cuyo impacto ha sido significativo en el cuidado de los pacientes, ya que se pueden determinar algunas mediciones “al lado de la cama”, sin necesidad de que las muestras sean analizadas en laboratorio [4]. Ejemplo de estos sistemas portátiles, son los glucómetros, instrumentos digitales que se utilizan para obtener la concentración de glucemia (glucosa en sangre), de

forma práctica e instantánea. Estos sistemas se empezaron a utilizar desde 1970, cuando aparecieron las tiras Dextrostix, sin embargo, eran imprácticas al momento de realizar la lectura [5]. A partir de 1970, la evolución de los glucómetros a nivel comercial ha evolucionado, encontrando dispositivos de alta precisión con una amplia gama de precios y características.

El objetivo de esta investigación, es proponer un medidor de glucosa no invasivo (por medio de la saliva), basado en la metodología del programa de Células de Innovación.

### II. METODOLOGÍA

Para la propuesta del medidor de glucosa no invasivo se aplicó la metodología de Células de Innovación, coordinado por la CONCAMIN, mediante un proceso estructurado que permite poner en práctica habilidades, metodologías y herramientas de innovación en la solución de problemáticas reales de empresas o emprendedores.

El programa de Células de Innovación consta de diez etapas metodológicas [6].

Eta 1. Definición: el objetivo de esta etapa es atraer proyectos de innovación de empresas y apoyarlos en la definición clara de un reto de innovación y los perfiles requeridos para su desarrollo.

Eta 2. Reclutar: atraer alumnos universitarios con los perfiles deseables en base a la definición del reto.

Eta 3. *Kick off*: arranque del programa; convivencia entre alumno-empresa donde se discuten y conocen los roles de trabajo.

Eta 4. Explorar: los equipos descubren, diseñan y ponen en práctica herramientas y técnicas de exploración para generar información valiosa.

Eta 5. Idear: los equipos descubren, diseñan y ponen en práctica herramientas y técnicas de creatividad para generar una gran cantidad de propuestas de solución a su reto.

Eta 6. Retroalimentar: evento en el que los equipos presentan sus propuestas de solución a una gran cantidad de personas para retroalimentar y seleccionar las mejores soluciones.

Etapa 7. Prototipar: los equipos descubren, diseñan y ponen en práctica herramientas y técnicas de prototipado para materializar y ser capaces de mostrar sus soluciones.

Etapa 8. Validar: los equipos descubren, diseñan y ponen en práctica herramientas y técnicas de validación y experimentación para evaluar la pertinencia de sus soluciones y mejorarlas.

Etapa 9. Presentación final: evento en el que los equipos presentan los resultados finales del proceso y muestran sus prototipos o conceptos.

Etapa 10. Evaluar: evaluación del desempeño a nivel equipo y a nivel individual de todos los participantes. Identificación de los siguientes pasos del proyecto.

### III. RESULTADOS

Basados en la metodología propuesta, los resultados fueron los siguientes.

Etapa 1. La empresa Aarson Productos Hospitalarios de Hermosillo Sonora, en conjunto al Instituto Tecnológico de Hermosillo, lanzaron el reto de proponer un dispositivo biomédico con impacto significativo en el mercado nacional e internacional.

Etapa 2. Se formó un grupo interdisciplinario de alumnos del Instituto Tecnológico de Hermosillo, integrado por 2 alumnos de ingeniería biomédica, 1 alumno de ingeniería mecatrónica y 1 alumno de ingeniería en gestión empresarial, acompañados de un profesor del área de metal-mecánica con perfil en mecatrónica.

Etapa 3. Se realizó una visita a la empresa Aarson Productos Hospitalarios por parte de los alumnos y asesor, donde se discutieron los aspectos generales del programa, los alcances y limitaciones del reto propuesto y un análisis global de la problemática.

Etapa 4. La información recopilada en esta etapa fue la siguiente.

Existe una relación lineal entre la concentración de glucosa en sangre y saliva. El coeficiente de determinación es de 0.96. La figura 1 en muestra una función que relaciona ambas concentraciones. Hay un desfase en tiempo entre la concentración pico de glucosa en saliva (15-40 min) y sangre (30- 60 min) [7].

Resulta ser que la relación entre ambas concentraciones no es comprendida completamente, por lo que hay lugar a error, y la reacción se basa en la conversión de lactato a piruvato y los reactantes colindantes [8].

Se puede medir glucosa en saliva por medios ópticos en vez de químicos. Los resultados tienen una mayor varianza.

Existe una relación entre absorbancia de una muestra de saliva y concentración de glucosa [9].

Sin importar el método, hay algunas medidas de precaución que se deben tomar en cuenta, como lavarse la boca con agua al menos 2 minutos antes de la medición.

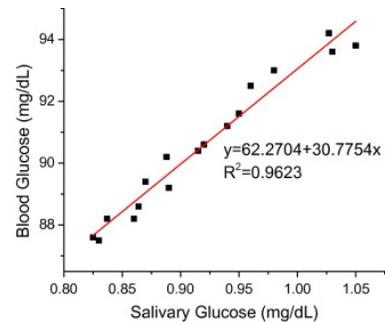


Fig. 1. Relación lineal entre glucosa en sangre y saliva [7].

En el IMPI la búsqueda “glucosa sangre saliva” sólo arrojó como resultado dos patentes relacionadas: ES2264118T3 y WO 2006031758 A3. Ninguno de los expedientes es público. Pero en pocas palabras, miden hidratos de carbono en saliva. La búsqueda “glucosa medición no invasiva” arroja 13 resultados. Utilizan medios ópticos, análisis de sudor, térmicos, entre otros. En esta búsqueda no aparecieron las patentes mencionadas anteriormente. En el OMPI la búsqueda “glucose saliva blood” arroja 130 resultados. Todos incluyen el análisis de saliva, lo que varía es el método de medición. Algunos utilizan medios ópticos, otros impedancia, biosensores, etc. En el OMPI la búsqueda “blood glucose non invasive” arroja 770 resultados. Los métodos de medición varían demasiado, pero incluyen medios ópticos y biosensores [10] [11].

Etapa 5. En esta etapa se presentaron tres conceptos distintos como posibles soluciones a la problemática y se describieron cada uno de ellos. En la tabla 1 se muestra la descripción del modelo elegido.

Etapa 6. Se eligió el concepto con las características de mayor relevancia; análisis del mapa de competencia o soluciones existentes (ver figura 2), especificación del concepto (ver tabla 2), mapa de oportunidades de innovación (ver figura 3) y matriz de diseño (ver tabla 3).

En el análisis del mapa de competencia, se muestran los valores obtenidos por posibles clientes potenciales, mediante una encuesta de percepción de los tres modelos propuestos.

Se observa que el modelo electromagnético (en azul) y el modelo de saliva (en verde), presentan un puntaje de 22 en las características medibles.

En el análisis de la especificación del concepto de tabla 2, se puede observar que el modelo de saliva (representado como 3\*\*\* en tabla 2), presenta un mayor puntaje, con un total de 66, seguido del modelo electromagnético con 54 y por último el modelo EM+US+Temp con 42 puntos.

TABLA I  
DESCRIPCIÓN DEL MODELO ELEGIDO (GLUCOVAL)

Segmento o nicho objetivo	Detalles del concepto
<p>¿Quién? Pacientes con diabetes que deseen monitorear sus niveles de glucosa de manera no invasiva, práctica y sencilla.</p> <p>¿Qué características tiene? Es un dispositivo en forma de óvalo (ancho: 4 cm, alto: 7 cm) que mide glucosa a partir de unos hisopos que muestrean la saliva del paciente. Tiene compartimientos para guardar los hisopos sin usar, que tienen un plástico que protege al biosensor de suciedad.</p> <p>“CONVENIENTE, PRÁCTICO, SENCILLO”</p> <p>Mide tus niveles de glucosa sin tener que pincharte el dedo.</p> <p><b>Enunciado de propuesta de valor</b></p>	<p>¿Qué contiene o de qué se trata? Un glucómetro para saliva e hisopos desechables para muestrear saliva</p> <p>¿Cómo se comprará o será adquirido? En farmacias y supermercados. También en Internet sobre pedido</p> <p>¿Cómo se empaca y se entrega? En una caja elegante y estética. Los hisopos se pueden comprar en un contenedor separado</p> <p>¿Cómo se usa? Se toma un hisopo y se frota la lengua con saliva sobre la punta de este. Posteriormente se fija el extremo opuesto del hisopo en el conector en la parte superior del dispositivo. El aparato hará la medición de glucosa y desplegará el resultado en una pantalla en la parte frontal del dispositivo. Es posible conectarlo vía <i>bluetootho WiFi</i> al celular o a una base de datos en la nube.</p>
Proposición única de venta (PUV) y beneficios para usuarios	PUV y beneficios para clientes
<p>¿Por qué el usuario necesita y comprará el producto? Porque es la opción más práctica y sencilla de utilizar además de la más confiable, sin necesidad de pincharse el dedo para tomar muestras de sangre.</p> <p>¿Qué posicionamiento o diferenciación tendrá respecto a la competencia? Su diseño estético, elegante, práctico y portátil lo harán resaltar en medio de la competencia.</p>	<p>¿Por qué los proveedores o aliados apoyarán o venderán este producto? Porque es la cúspide del mercado de medición de glucosa en sangre</p> <p>¿Por qué otros recomendarán este producto? Porque es fácil de usar, práctico y conveniente.</p> <p>¿Qué posicionamiento o diferenciación tendrá respecto a la competencia? Su diseño portátil, la apariencia futurista y su funcionalidad están a leguas de los demás productos en el Mercado.</p>
Promoción, distribución y aliados	Impacto para el negocio
<p>¿Branding y promoción? Se puede hacer campaña en Internet (YouTube, Facebook y Twitter), mostrando los beneficios del producto y experiencia de usuarios.</p> <p>¿Co-branding? Por el diseño y modo de uso, se podría hacer una alianza con Apple, ya que sus productos tienen conceptos relacionados. Se podría integrar al marketing de Apple Watch de alguna manera.</p> <p>¿Distribución? ¿Colaboración para entrega? Colaboración con paqueterías, Amazon.com, MercadoLibre.com y otras tiendas en la Web para facilitar el acceso al producto.</p>	<p>Posicionamiento, <i>market share</i>, contribución, ingresos, ganancias: Si se logra patentar la tecnología se tendrá una gran ventaja competitiva frente a los demás productos en el mercado. Dependiendo del precio de venta, se podría llegar a tener un mercado de hasta 5% de la población diabética (350 millones de personas) por la gran conveniencia que representa el uso de un producto con estas cualidades.</p>

En el diagrama de la figura 3, se pueden observar las oportunidades de innovación, enlistadas a continuación de mayor a menor:

1. B. Practicidad y conveniencia de uso del dispositivo
2. D. Discreción del dispositivo
3. E. Tiempo de vida y mantenimiento del dispositivo o sus componentes
4. F. Costo de la tecnología
5. A. Precisión de las mediciones
6. C. Portabilidad del dispositivo

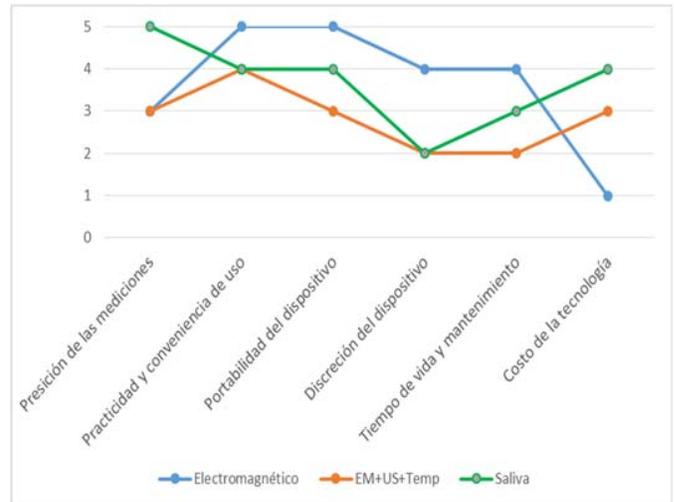


Fig. 2. Análisis de mapa de competencia.

TABLA II  
ESPECIFICACIÓN DEL CONCEPTO PARA LOS 3 MODELOS

Área	Criterio del concepto	Requerimientos de usuario o cliente	1 *	2 **	3 ***
Confiabilidad del producto	A. Precisión de las mediciones	Se requiere la mayor precisión posible para que el usuario tome las decisiones correctas en base a la información obtenida. La FDA exige un margen de error del 1% del valor real.	10	10	10
	B. Practicidad y conveniencia de uso del dispositivo	Debe ser fácil de utilizar y la información debe desplegarse de manera clara y concisa. Las mediciones deben tomarse en poco tiempo con sólo tareas simples. Debe poder digitalizarse la información y mostrarla a través de una pantalla.	10	5	15
Funcionalidad del dispositivo	C. Portabilidad del dispositivo	Se necesita un dispositivo ligero, pequeño y que opere con baterías. Que no pese más que un celular. Que quepa en el bolsillo. Que opere con baterías y se mantenga energizado al menos 24 horas.	10	10	10
	D. Discreción del dispositivo	Es importante que el dispositivo no sea muy escandaloso (en su apariencia y en su uso) para que el usuario no se desmotive de utilizarlo en público.	8	5	11
Viabilidad del concepto	E. Tiempo de vida y mantenimiento o del dispositivo o sus componentes	Que el tiempo de vida y ciclos de mantenimiento compitan con los glucómetros actuales (calibración de 3 meses, tiempos de vida de 2 años o más – no tomar en cuenta los elementos desechables).	8	5	11
	F. Costo de la tecnología	Los costos de producción deben ser bajos para que el producto sea accesible a la mayor población posible.	8	7	9

\*Electromagnético, \*\*EM+US+Temp, \*\*\*Saliva.

## V. CONCLUSIÓN

Los equipos multidisciplinares de ingenierías diversas, en conjunto con la academia y la industria, pueden resolver problemáticas de una gran diversidad de ramas, por ejemplo, las pertenecientes a la rama de la salud, basados en metodologías bien estructuradas, probadas y fundamentadas.

En el sector biomédico, las áreas de oportunidad para la innovación y patente de nuevos productos se abre a un panorama amplio de posibilidades, con la característica de que se puede trabajar en sinergia con ingenieros de varias disciplinas, que pueden ser biomédicos, mecánicos e ingenieros en gestión empresarial (por citar alguno), para dar como resultado, propuestas de valor para la industria, que pueden convertirse posteriormente en productos o patentes.

Se propone, en futuras investigaciones, complementar la etapa 8, para validar el modelo propuesto.

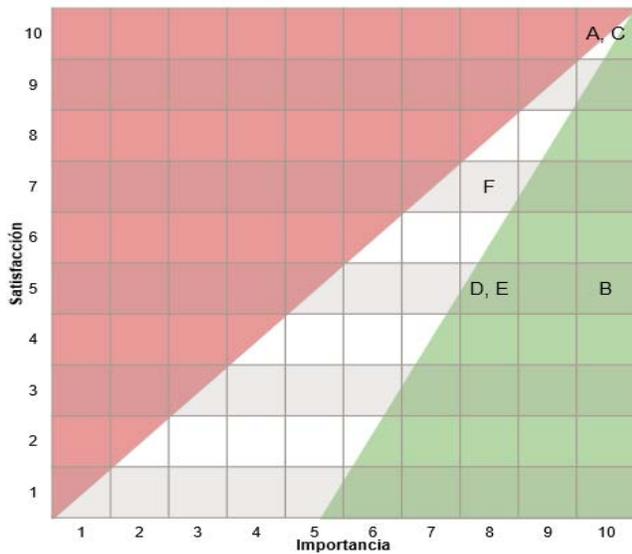


Fig. 3. Oportunidad de innovación. Nota: Puntaje de oportunidad =  $\text{Importancia} + (\text{Importancia} - \text{Satisfacción})$  / La cantidad en paréntesis nunca debe ser cero.

TABLA III  
MATRIZ DE DISEÑO

Elementos o variables	A	B	C	D
Tecnología para medición	Medición de peróxido de hidrógeno con glucoreductasa	Medición de consumo de oxígeno con glucoreductasa	Biosensor nanométrico	Combinación de tecnologías
Forma física del producto	Cilíndrico	Plano y rectangular	Óvalo	
Material	Plástico	Metálico		
Conectividad	WiFi	BT		
Alarmas	Sonora	Visual	Ambas	
Display	LCD	7-seg	OLED	
Empaque	Caja	Plástico		
Controles	Touch	Comandos de voz	Botón	

Etapa 7. Se realiza el bosquejo del modelo (figura 4).

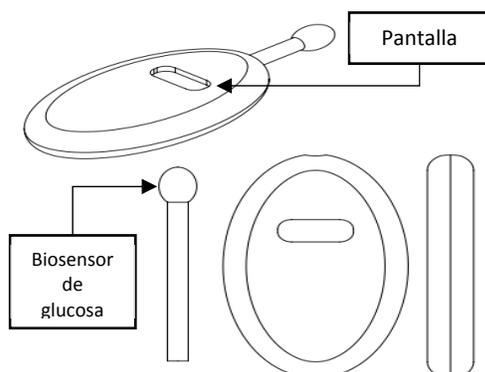


Fig. 4. Diseño asistido por computadora del modelo seleccionado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Olmo, M, Nave R. (2018). Glucosa. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Organic/sugar.html>
- [2] Vidal, Esmatjes, "Comprender la diabetes" en ¿Qué es la diabetes mellitus?, Ed. Amat, 2104, Ch. 1.
- [3] Santes-Bstian MC, Mar-Cervantes AP, Martínez-Diaz N, Meléndez-Chávez S. Estado nutricional y control metabólico en pacientes diabéticos. Revista Médica de la Universidad Veracruzana 16(1): 7-17, 2016.
- [4] Montenegro ME, Nardi MA, Fares-Taie A, Yanel-Rolando J, Ricciardi V, Furci A, de Miguel R. Implementación y evaluación de un programa de gestión de calidad para el monitoreo de glucómetros en un hospital universitario. Revista Argentina de terapia intensiva 34(6), 2017.
- [5] Trujillo JA. Los glucómetros en la práctica de Enfermería. Desarrollo Científico en Enfermería 19(10): p. 328, 2011.
- [6] Herrera-Vega M. Informe de resultados 2016/2017. Concamin®, 2018.
- [7] Zhang W, Du Y, Wang ML. Noninvasive glucose monitoring using saliva nano-biosensor. Sensing and Bio-Sensing Research, Vol 4, pp. 23-29 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2015.02.002>
- [8] Bruen D, Colm D, Florea L, Diamond D. Glucose sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments. Sensors, 17(8), p. 1866 (2017). DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081866>
- [9] Geon-Jung D, Jung D, Ho Kong S. A Labo-on-a-Chip-Based Non-Invasive Optical Sensor for Measuring Glucose in Saliva. Sensors, 17(11), p. 2607. (2017). DOI: <https://doi.org/10.3390/s17112607>
- [10] IMPI - Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial. Fuente: <http://siga.impi.gob.mx>
- [11] WIPO – PATENTSCOPE. <https://patentscope.wipo.int>