



De actualidad

Desde la UAM

Noticias de la AMC

Jenny Noemí Muñoz Montes de Oca, Héctor Romero Morales y José Javier Reyes Lagos

De estetoscopios a dispositivos inteligentes: una revolución del monitoreo materno-fetal

El monitoreo fetal es un procedimiento que se realiza a las mujeres durante el embarazo para evaluar la salud del feto. Desde estetoscopios hasta modernos equipos médicos, el monitoreo fetal ha evolucionado con la tecnología. El monitoreo materno-fetal 4.0 permite revisar el estado del feto y la madre de forma continua durante el embarazo, al enviar información al hospital y ayudar a los médicos con un diagnóstico oportuno.

Introducción

El avance tecnológico ha impactado en casi todas las áreas del desarrollo humano y la comunicación inalámbrica ha revolucionado la forma en que aprendemos, interactuamos y hacemos negocios en todo el mundo. Asimismo, los servicios de salud han evolucionado a sistemas más avanzados, conectados y enfocados en las necesidades de cada paciente. Este nuevo sistema se llama *Healthcare 4.0*.

El sistema *Healthcare 4.0* podría sonar como algo lejano, pero gracias a los avances tecnológicos su uso en un futuro cercano es cada vez más real. Su implementación supondría llevar los servicios de salud de alto nivel a las comunidades más alejadas. De esta forma, los profesionales especialistas en medicina podrían ayudar a la gente que más lo necesita y mejorar su calidad de vida.

La pandemia de Covid-19 incentivó el uso de la tecnología en múltiples áreas. Por ejemplo, las personas empezaron a tomar clases en línea y a trabajar desde su casa, lo que tomó un papel importante en el ámbito académico e industrial, respectivamente. En el área de la salud, el aumento de contagios y la saturación de hospitales provocaron rezagos en la atención de otros padecimientos y condiciones; por ejemplo, el seguimiento médico de mujeres durante el embarazo. Las restricciones de movilidad, los tiempos prolongados entre consultas, así como la posibilidad de contraer la infección, generaron un aumento en los índices de estrés, ansiedad y

depresión en las futuras mamás, lo que, de acuerdo con estudios científicos, conlleva a un mayor riesgo de parto prematuro (Kahankova y cols., 2023).

El monitoreo materno-fetal es el seguimiento continuo o intermitente de la frecuencia cardíaca fetal y las contracciones uterinas durante el embarazo, el trabajo de parto y el nacimiento. Este seguimiento permite a los profesionales de la medicina conocer la salud del feto, detectar alguna complicación y, en general, evaluar el progreso del embarazo. Para ello, se utilizan dispositivos electrónicos para medir simultáneamente tanto la actividad eléctrica del corazón del feto, como las contracciones uterinas de la madre (ACOG, 2009) El monitoreo materno-fetal ha presentado una evolución que ha ido de la mano de la tecnología médica. Como se muestra en la **Figura 1**, este desarrollo ha sido dividido en cuatro etapas:

- **Monitoreo fetal 1.0.** Fue el primer acercamiento al monitoreo fetal. Se originó mediante la auscultación médica intermitente, utilizando el estetoscopio. A su vez, la salud del feto era evaluada mediante su movilidad en el vientre. Este acercamiento únicamente permitía confirmar la presencia de latido cardíaco en el feto y la detección de ritmos cardíacos anormales.
- **Monitoreo fetal 2.0.** La introducción del monitoreo electrónico revolucionó los métodos de evaluación de la salud del feto. Específicamente el diagnóstico de patologías como defectos congénitos, desprendimiento de placenta, sufrimiento fetal, contracciones uterinas anormales, o disfunción uterina, pueden realizarse a lo largo del em-

barazo y en el trabajo de parto mediante el uso de equipos fijos de ultrasonido y cardiotocógrafos. Actualmente, el monitoreo fetal 2.0 se implementa en la mayor parte de los hospitales de segundo nivel de atención.

- **Monitoreo fetal 3.0.** Algunos equipos médicos de monitoreo remoto han sido recientemente introducidos en el mercado debido a la creciente tendencia de crear sistemas de monitoreo portátiles. Algunos ejemplos de ellos son los equipos de ultrasonido *doppler* y *electrocardiógrafos fetales*, que pretenden brindar un panorama general de la salud del feto a través de la monitorización y registro de la frecuencia cardíaca fetal. En conjunto con la telemedicina, su uso pretende disminuir los riesgos de movilidad y gestionar la atención hospitalaria.

El monitoreo fetal 4.0 es una propuesta ambiciosa que implementa el conocimiento adquirido a través del monitoreo electrónico fetal para el desarrollo de sistemas automáticos e inteligentes que permitan el diagnóstico y seguimiento de pacientes a distancia. Actualmente, el seguimiento fetal está atravesando la era 3.0, en la cual diversos dispositivos remotos de evaluación materno-fetal han sido introducidos al mercado, lo que ha permitido una monitorización continua del estado de salud de la mamá y del feto (Kahankova y cols., 2023). La transición del monitoreo 3.0 al 4.0 incluirá la digitalización de la información y el uso extensivo de la inteligencia artificial para obtener diagnósticos más precisos, mejorar los esquemas de prevención de complicaciones

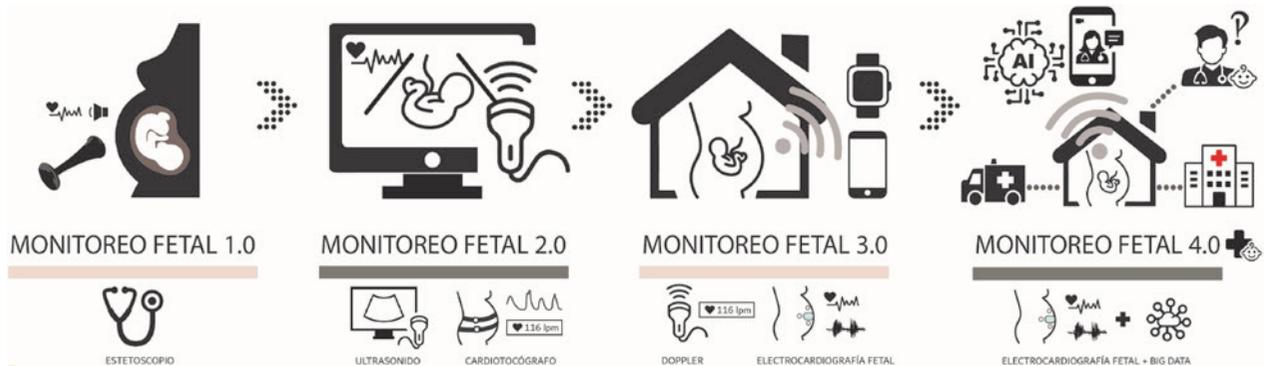


Figura 1. Evolución de los sistemas de monitoreo fetal y las tecnologías empleadas en cada una de las etapas.

y tener un sistema personalizado para la atención de las pacientes.

En un futuro cercano, la tecnología médica podría desarrollar dispositivos médicos portátiles que monitoreen constantemente la salud del feto y de la madre durante el embarazo, utilizando equipos inalámbricos cómodos y discretos que se conecten a internet y transmitan la información directamente a los profesionales de la salud. Siguiendo la tendencia conocida como “internet de las cosas”, que se refiere a múltiples dispositivos conectados a internet que pueden interactuar entre sí, tal como los asistentes de voz pueden encender la televisión o apagar la luz en una habitación. La información generada por los dispositivos de monitoreo podría utilizarse para tomar decisiones clínicas de forma oportuna, emitir alertas en caso de problemas y predecir posibles complicaciones en el embarazo. Así, podríamos imaginar un dispositivo médico portátil que las mujeres utilicen de forma constante durante el embarazo, similar a los relojes inteligentes, para enviar información importante sobre su salud al médico tratante.

■ **Desventajas del método tradicional**

■ En la actualidad, para llevar un seguimiento del embarazo se utilizan principalmente dos técnicas: la ultrasonografía y la cardiotocografía. La ultrasonografía es un método que permite obtener imágenes del feto y medir su ritmo cardíaco para detectar posibles enfermedades. Aunque es sencilla, se necesita un especialista para manejar el equipo e interpretar las imágenes. Además, a pesar de ser una herramienta valiosa para el control prenatal, la exposición continua a energía ultrasónica impide su uso para el monitoreo continuo del embarazo (Kahankova y cols., 2023). Por otro lado, la cardiotocografía detecta las contracciones uterinas, a través de los cambios en el contorno abdominal materno, y mide la frecuencia cardíaca fetal. Al ser un método no invasivo y seguro, ha sido aceptado rápidamente en la práctica clínica para el monitoreo materno-fetal durante el trabajo de parto. No obstante, la medición requiere una colocación correcta de los sensores y también es influenciada por el movimiento fetal y la



respiración materna. A su vez, su uso en mujeres embarazadas obesas ($IMC > 34$) no es confiable, pues la distancia entre el útero y la piel donde se colocan los sensores podría generar mediciones poco confiables (Euliano y cols., 2007).

■ **El presente y el futuro del monitoreo fetal**

■ En la actualidad, los expertos buscan nuevas técnicas seguras y no invasivas para medir el estado de salud del feto. Una de estas técnicas se llama fonocardiograma, que consiste en escuchar los latidos del corazón del bebé desde fuera del vientre de la madre. Este método es económico y fácil de usar. Dentro del útero, el corazón del bebé produce señales eléctricas que pueden ser detectadas desde la superficie del

vientre materno. La electrocardiografía fetal registra estas señales y proporciona información sobre el ritmo cardíaco tanto del feto como de la madre. Al observar la actividad eléctrica del corazón, los expertos pueden detectar si hay falta de oxígeno en el feto (lo que se llama hipoxia). Además, los mismos sensores pueden usarse para registrar la actividad eléctrica muscular uterina de la madre (electrohisterograma o electromiograma uterino), lo que proporciona información sobre el estado de ambos durante el parto y el seguimiento del progreso del trabajo de parto (Escalante-Gaytán y cols., 2019).

La electrocardiografía fetal y el electrohisterograma son técnicas que permiten medir la actividad eléctrica del corazón del feto y las contracciones del útero de la madre. Estos métodos son seguros, dado que no emplean radiación y son cómodos para la paciente. Además, pueden ser utilizados en mujeres con un alto índice de masa corporal. Los

resultados obtenidos mediante estas técnicas pueden ser usados para detectar problemas en el feto como la falta de oxígeno. Actualmente, los expertos están desarrollando y probando algoritmos de aprendizaje automático y herramientas de física estadística e ingeniería biomédica para mejorar el monitoreo fetal. El objetivo es predecir y comprender, desde un punto de vista médico, complicaciones, como el parto prematuro o el estrés fetal. A pesar de los avances en esta área, la implementación de estas técnicas aún es limitada debido a la complejidad del problema y a cuestiones como la privacidad de los datos del paciente. Sin embargo, se espera que en un futuro cercano los proveedores de atención médica puedan garantizar la seguridad de la información del paciente gracias a los avances en ciberseguridad. La **Figura 2** muestra una comparación entre las estrategias para el monitoreo fetal que se usan en la actualidad y el *Healthcare 4.0*.



Figura 2. Comparación entre las estrategias de monitoreo fetal actuales y la propuesta del Healthcare 4.0.

El monitoreo fetal 4.0 promete ser un sistema de evaluación continua de la salud materno-fetal para la detección temprana de enfermedades. Adicionalmente, la atención continua y remota podría implicar cambios para evitar la saturación de los servicios de salud, y permitiría llevar la medicina a comunidades lejanas. Este sistema innovador busca usar las ventajas del mundo interconectado gracias al internet, así como las nuevas tecnologías inteligentes, que permitan la detección de anomalías, brindando un enfoque personalizado para las pacientes. Una primera etapa de la introducción del monitoreo fetal 4.0 pudiera darse en hospitales de referencia, como el Instituto Nacional de Perinatología o en hospitales privados; sin embargo, se espera que la infraestructura de salubridad pueda aprovechar estas herramientas para hacer más accesible los servicios de salud.

Aunque aún existe camino por recorrer, la introducción de dispositivos médicos comerciales para el monitoreo remoto marca el inicio de una nueva era en el cuidado de la salud. Esta nueva era requiere los esfuerzos conjuntos de profesionales en ingeniería

biomédica, involucrados en el diseño de instrumentos, algoritmos de ciencia de datos y telemedicina. Su objetivo es generar dispositivos seguros, eficientes y orientados al paciente, utilizando tecnología de punta. Esto, aunado a los crecientes desarrollos de tecnologías con inteligencia artificial, ciberseguridad e incluso dispositivos portátiles, demuestra que lo mejor está por venir.

Jenny Noemí Muñoz Montes de Oca

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
jenny.munoz@inaoep.mx

Héctor Romero Morales

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
hector.romero@inaoep.mx

José Javier Reyes Lagos

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México.
jjreyesl@uaemex.mx

Referencias específicas

American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) (2009), "ACOG Practice Bulletin No. 106: Intrapartum Fetal Heart Rate Monitoring: Nomenclature, Interpretation, and General Management Principles", *Obstetrics and Gynecology*, 114(1): 192-202.

Escalante-Gaytán, J., C. Esquivel-Arizmendi, C. Ledesma-Ramírez, A. Pliego-Carrillo, M. García-González y J. Reyes-Lagos (enero de 2019), "Utilidad de la electrohisterografía como técnica de monitorización uterina en el ámbito clínico: revisión bibliográfica", *Ginecología y Obstetricia de México*, 87(1):46-59.

Euliano, T. Y., M. T. Nguyen, D. Marosero y R. K. Edwards (2007), "Monitoring contractions in obese parturients: electrohysterography compared with traditional monitoring", *Obstetrics & Gynecology*, 109(5):1136-1140.

Kahankova, R., K. Barnova, R. Jaros, J. Pavlicek, V. Snašel y R. Martinek (2023), "Pregnancy in the time of covid-19: towards fetal monitoring 4.0", *BMC Pregnancy and Childbirth*, 23(1):33.