

**REVISIÓN DE LITERATURA DE TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 APLICADAS
AL MONITOREO DE NEONATOS EN INCUBADORAS**

Isabella Prada Patiño

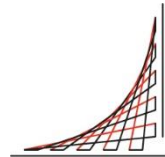
Práctica profesional

Tutor

Ing. Daniel Alejandro Quiroga



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2021**

RESUMEN

Introducción: A lo largo de los años se ha evidenciado las consecuencias causadas por alteraciones en ciertas variables monitoreadas en una incubadora. Donde la temperatura, humedad y ruido son factores vitales para la supervivencia de los bebés. Por ello es de gran importancia conocer las tecnologías existentes para el monitoreo de neonatos en incubadoras y encontrar su posible influencia en ámbitos empresariales.

Objetivos: Realizar una revisión de la literatura acerca de dispositivos médicos y no médicos, los cuales posean la capacidad de monitorear diferentes variables en incubadoras para recién nacidos prematuros, a partir de tecnologías de industria 4.0, conocer su estado de madurez tecnológica e identificar de forma general como las variables estudiadas en los documentos afectan el estado de salud de los recién nacidos en incubadoras.

Metodología: Se implementaron diferentes fases en la metodología. Iniciando con la construcción de la búsqueda, seguido a esto se realizó la revisión de resúmenes y se finalizó con la revisión y extracción de información de artículos completos. Aquí se evaluaron diferentes variables e ítems siguiendo siempre los criterios establecidos.

Resultados: Como resultados de la revisión de literatura se encontraron y clasificaron porcentual y numéricamente las tecnologías existentes correspondientes a la industria 4.0, además de tecnologías existentes no pertenecientes a la industria 4.0 que cumplen con los objetivos propuestos. De este modo se halló el nivel de madurez las tecnologías encontradas y las afectaciones producidas por las variables estudiadas afectan el estado de salud de los recién nacidos en incubadoras, esto de forma general.

Conclusiones: En conclusión, las tecnologías encontradas aún se encuentran en un nivel de madurez tecnológica muy temprana, siendo las tecnologías no pertenecientes a la industria 4.0 las más desarrolladas. Demostrando la gran necesidad de expandir estas áreas de estudio e implementarlas al ámbito médico. Esta revisión posee grandes ventajas para enmarcar un panorama actual del desarrollo tecnológico de las temáticas planteadas, el cual es de gran utilidad para proyectos futuros en ámbitos empresariales.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS	8
2.1. General.....	8
2.2. Específicos	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1. Criterios de inclusión.....	9
3.2. Criterios de exclusión.....	9
3.3. Fuentes de información	10
3.4. Estrategia de búsqueda.....	10
3.5. Búsqueda de documentos	10
3.6. Verificación documentos encontrados	10
3.7. Primera revisión de aceptación o rechazo	11
3.8. Segunda revisión de aceptación de rechazo.....	11
3.9. Ventana de tiempo.....	11
3.10. Alcances y limitaciones.....	12
4. RESULTADOS	13
4.1. Selección de estudios.....	13
4.2. Primera revisión de aceptación o rechazo	13
4.3. Segunda revisión de aceptación o rechazo.....	14
4.4. Tipo de documento	14
4.5. País de origen de los autores	14
4.6. Tecnologías probadas o no.....	15
4.7. Número de muestra	15
4.8. Fase en la que se encuentran los documentos	16
4.9. Variables.....	16
4.10. Objetivos, resultados y conclusiones generales de los documentos.....	16
4.11. Tecnología 4.0	17
4.12. Afectaciones generales de las variables en el estado de salud de neonatos en incubadoras.....	19
5. DISCUSIÓN.....	22
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	25
7. CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de características generales de los estudios incluidos.....	17
Tabla 2. Tecnologías existentes para el monitoreo de diferentes variables de neonatos en incubadoras.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt.....	9
Figura 2. Diagrama de flujo de selección de documentos de la revisión de literatura.....	15

1. INTRODUCCIÓN

La presente revisión de literatura se realizó debido a la importancia de conocer las tecnologías y dispositivos médicos y no médicos que tengan la capacidad de monitorear variables en incubadoras para recién nacidos prematuros, esto enfocado a la tecnología 4.0, también para conocer el estado de madurez tecnológica de las soluciones existentes en este campo actualmente.

Para iniciar hay que aclarar que una incubadora neonatal es un aparato que proporciona un ambiente cerrado y controlado para el sustento de los bebés prematuros, en estas se pueden monitorear diferentes variables de los prematuros. Un mal funcionamiento o manejo de estas incubadoras, representa un riesgo para los recién nacidos, debido a que estas pueden conducir a accidentes como fugas de gas y sobrecalentamiento que provocan cortocircuitos y, finalmente, el estallido de las incubadoras [1].

Bien se sabe que el cambio de ciertas variables es vital para el desarrollo de los neonatos, ya que al alterarse proporcionan diferentes enfermedades entre ella. En el caso de la temperatura, los bebés prematuros no pueden regular su temperatura corporal de manera fácil debido a las bajas tasas metabólicas que generan [2], ya que carecen de mecanismos de termogénesis o están subdesarrollados [3] por lo cual son propensos a desarrollar hipotermia e hipertermia en condiciones extremas de temperatura [4], por estas razones los neonatos prematuros deben ser monitoreados continuamente, tanto su temperatura central como periférica. El propósito de monitorear la temperatura es mantener al bebé en una zona ambiental termo neutral, donde no se aumenta su tasa metabólica ni su consumo de oxígeno [5]. Es de suma importancia mantener la temperatura, ya que de esta depende la supervivencia de los bebés [6]. Lo ideal es mantener la temperatura de los prematuros lo más cerca posible de los 37 grados centígrados, al bajar está a 32 grados centígrados, ya se considera un estado de hipotermia, que como se nombraba anteriormente es un estado de riesgo vital para el recién nacido.

Existen diferentes instrumentos para medir la temperatura de los neonatos. Estos principalmente se controlan mediante métodos de contacto, los cuales pueden causar molestias o lesiones [3]. La mayoría de estos instrumentos miden las variables a partir de sensores y electrodos que se adhieren a la piel, lo cual, puede generar daños y causar infecciones. Por otro lado, los cables interfieren con el cuidado y limpieza. De igual forma impiden que los padres carguen y toquen al bebé sin causarle daños u obstaculicen el funcionamiento de las incubadoras [7].

De acuerdo a lo anterior, la literatura científica se ha enfocado en darle paso a la termometría y medición de otras variables sin contacto, con el fin de evitar estas situaciones. Estos instrumentos sin contacto se basan principalmente en la percepción por parte del termorreceptor del espectro energético de la radiación electromagnética [3]. Como se podrá observar más adelante en este documento estas se adquieren por medio de cámaras de video y cámaras térmicas infrarrojas, las cuales representan una de las tecnologías más usadas actualmente para el monitoreo de la temperatura.

En esta revisión por medio de una búsqueda estratégica, se encontraron documentos con ciertas variables principales como: la temperatura, el ruido y la humedad. En el caso de la

humedad, esta requiere niveles específicos para disminuir la ingesta metabólica y evitar problemas de desarrollo [8]. Por otro lado, el ruido es estudiado debido a que tiene una influencia significativa en el sueño de los bebés prematuros [9], al existir ruidos intensos o que sobrepasen los límites designados, los prematuros presentan reflejo de parpadeo, reflejo de sobresalto, mímica facial, cambio de actividades corporales o cambio de estado de sueño y vigilia, entre otros factores que afecta el desarrollo de los bebés [10]. Estos ruidos pueden provenir tanto del exterior de las incubadoras, como del interior, entre estos ruidos se encuentran alarmas, ruido del personal, llanto, entre muchos otros. Además de estas variables, se encontraron muchas otras que son estudiadas diariamente, como la frecuencia cardíaca y respiratoria, el peso, los latidos, etc. Estas variables representan factores vitales para los neonatos, debido a que indican como está su estado de salud. Además mediante estas se generan diagnósticos donde se pueden encontrar problemas o enfermedades en los neonatos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que esta área cuenta con un campo de acción significativo para mejorar la calidad de vida y desarrollo de los prematuros. Así, en este trabajo se realizó una revisión de literatura exhaustiva por medio de la selección de documentos en diferentes pasos. Esto siguiendo unos criterios de inclusión y exclusión, basados principalmente en hallar las tecnologías existentes y activas actualmente para el monitoreo de prematuros en incubadoras, especialmente en tecnologías 4.0 que manejan monitoreo remoto, IoT, Big data, Cloud y muchas otras. Lo cual permitirá estar más atentos de cualquier cambio presentado en las variables, por medio de alarmas, aplicaciones web y monitoreo constante de forma remota. Lo anterior resultando fundamental para reducir la mortalidad en bebés prematuros. De igual forma, se buscan tecnologías que cada vez generen más confianza, precisión y almacenamiento para obtener resultados óptimos y una respuesta a eventos adversos rápida y concisa.

Esta revisión de literatura se realiza debido a la necesidad del hospital universitario de la Samaritana, de conocer las tecnologías existentes en el área de cuidados neonatales, donde se busca tecnologías más óptimas y avanzadas para el monitoreo de los prematuros. Este hospital, es una empresa de servicios de alta y mediana complejidad con sedes en diferentes partes del departamento de Cundinamarca. Además ha demostrado ser un gran líder en docencia, investigación y salud, al brindar de gran calidad en diferentes áreas de la salud. Por lo anterior como parte de la práctica empresarial enfocada en gerencia de proyectos, donde se desarrollan habilidades y conocimientos en el proceso de planeación y ejecución de proyectos de inversión de la institución. Se encontró la necesidad de estar informados de las tecnologías subyacentes, especialmente en el área de cuidados neonatales, al ser un lugar con gran cantidad de pacientes, junto al mejoramiento continuo de esta unidad y del hospital. Debido a esto se realiza la revisión de literatura con el fin de en un futuro cercano tener un panorama del mercado en el cual se pueden realizar inversiones y adquisición de equipos médicos, dando prioridad a las tecnologías que mejor se adecuen al hospital, estas para ampliar la comunicación de datos del área de cuidados neonatales.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Realizar una revisión de la literatura acerca de dispositivos médicos y no médicos, los cuales posean la capacidad de monitorear diferentes variables en incubadoras para recién nacidos prematuros, a partir de tecnologías de industria 4.0.

2.2. Específicos

1. Definir que tecnologías de la industria 4.0 son utilizadas para el monitoreo de recién nacidos en incubadoras.
2. Conocer es el estado de madurez tecnológica de las soluciones de recién nacidos en incubadoras.
3. Identificar de forma general como las variables estudiadas en los documentos afectan el estado de salud de los recién nacidos en incubadoras.

3. METODOLOGÍA

La revisión de literatura se separó en diferentes fases. De forma general, la primera fase es la construcción de la búsqueda, la segunda la revisión de resúmenes y la tercera la revisión y extracción de información de artículos completos. Esta metodología se planteó por medio de fechas tentativas y actividades, las cuales se exponen a continuación en la Figura 2. Diagrama de Gantt.

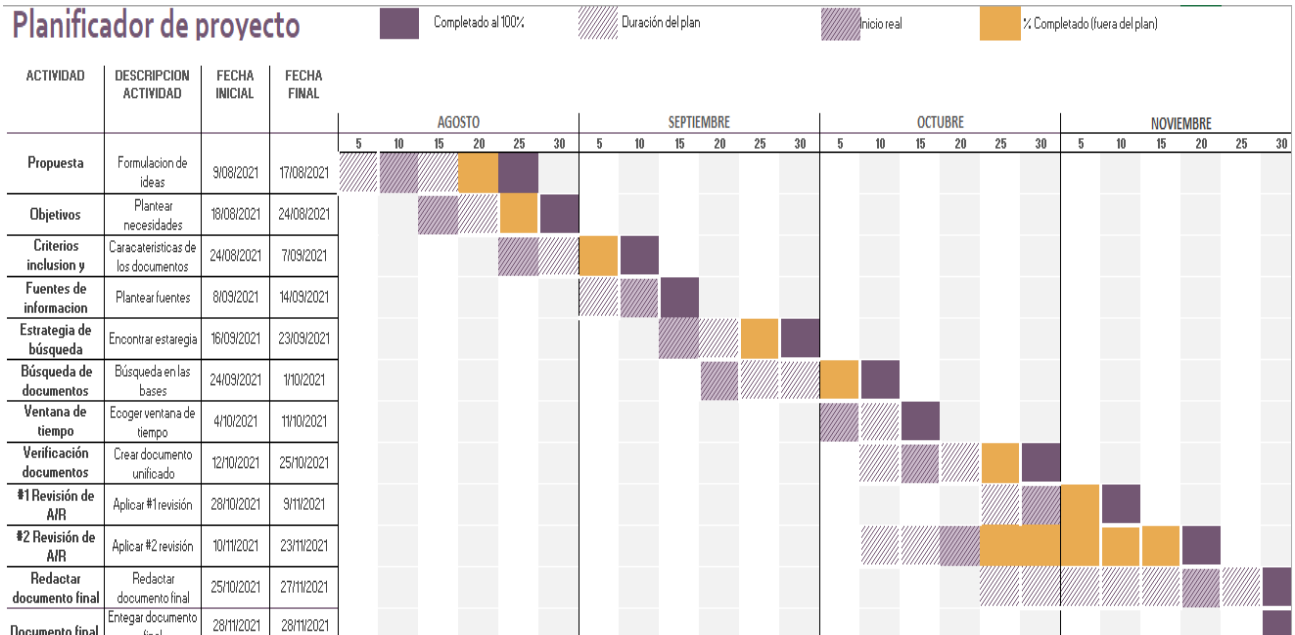


Figura 1. Diagrama de Gantt

3.1. Criterios de inclusión

1. Dispositivos que monitorean variables relacionadas a neonatos en incubadora.
2. Documentos en español e inglés.
3. Dispositivos que manejen tecnologías de industria 4.0.
4. Documentos desde 2009

3.2. Criterios de exclusión

4. Dispositivos implantables.
5. Dispositivos que solo controlen y no monitoreen.
6. Dispositivos que estén en la fase de diseño teórica tales como modelos matemáticos, ideas, Revisiones, prototipos.
7. Documentos que solo expliquen una parte del dispositivo. (eje sensores, f. alimentación).
8. Temáticas no relacionadas a los objetivos planteados.
9. Transporte de neonatos.

3.3. Fuentes de información

Los artículos fueron identificados y extraídos por medio de la búsqueda en diferentes bases de datos electrónicas, entre las bases de datos utilizadas se encuentran Scopus, IEEE Xplore y Pubmed, en cada una de estas bases de datos se aplicó la misma estrategia de búsqueda.

3.4. Estrategia de búsqueda

Para lograr una estrategia de búsqueda final se desarrollaron una serie de pasos. En primer lugar se estableció de forma clara el título y los objetivos del proyecto; continuo a esto se aplicó una pequeña búsqueda de artículos con el fin de identificar palabras y temas de interés respecto al tema objeto de estudio. Como resultado a lo anterior se escogieron las palabras Mesh más acertadas, de este modo se genera una búsqueda más específica, con vocabulario médico. Esta organizada en orden jerárquico. A continuación, se hizo uso de operadores como AND y OR para hacer más precisa la búsqueda y encasillar las palabras en grupos con temática similar. Es importante nombrar que antes de lograr la búsqueda final, se realizó varias pruebas de combinaciones y palabras, hasta llegar a una que permitía tener un número de resultados entre 100-300, para de esta forma tener un rango óptimo de búsqueda. Tras las diferentes búsquedas, la que más abarcaba las palabras y temáticas seleccionadas fue la siguiente:

((Incubator) AND (iot OR monitoring OR computational OR "Internet of things" OR supervision) AND (premature OR neonate OR newborn) AND (temperature OR variables OR noise OR humidity OR signals OR vibration)).

3.5. Búsqueda de documentos

Al tener una estrategia de búsqueda definida, se continuó con la búsqueda en las bases de datos planteadas, las cuales se arrojaron un número de resultados una vez aplicada la estrategia, cada base de datos arrojó como resultado un número diferente de artículos, estos artículos fueron descargados en archivo .csv y seguido a esto organizados juntos en un archivo Excel. Los archivos descargados contaban con ciertos ítems, estos ítems fueron: Autor(s), Título del artículo, Año de publicación, Título de la fuente, volumen, asunto, Número de artículo, página de inicio y final, número de páginas, DOI, afiliaciones del artículo y del autor, resumen, palabras claves del autor, tipo de documento y fuente de donde fue descargado el artículo. Sin embargo, solo la base de datos Scopus brindaba toda esta información, para las otras bases de datos Pubmed e IEEE Xplore cierta información en algunos ítems no estaba completa, por lo cual se procedió a completar la información más importante como el resumen.

3.6. Verificación documentos encontrados

Para continuar con la selección de los documentos de la revisión de literatura, se procedió a juntar todos los artículos junto a los ítems en un documento unificado. Al tener el documento unificado de todos los archivos, se realizó una revisión por filtros y lectura para eliminar copias. Una vez verificado esto se comenzó con la primera revisión para aprobar o rechazar de los artículos.

3.7. Primera revisión de aceptación o rechazo

Ahora bien, es de suma importancia nombrar que no todos los artículos encontrados son de interés en la revisión de literatura, esto debido a que una gran cantidad contiene información que no es de relevancia para la investigación o no entra en los objetivos planteados, por consiguiente, como se nombró al inicio de esta metodología, se aplican unos criterios de inclusión y exclusión. En efecto como primera revisión preliminar todos los artículos fueron revisados uno por uno, se concentró la lectura principalmente del resumen de los artículos, de este modo fueron aceptados o rechazados según los criterios, algunos cumplían con uno o más criterios de exclusión o inclusión, pero se escogió el más relevante. Esto redujo el número de artículos considerablemente. Por otro lado, se aplicó la ventana de tiempo la cual redujo el número de artículo aún más, ya que, al no encontrarse los artículos en las fechas deseadas, este no sería de gran utilidad.

3.8. Segunda revisión de aceptación de rechazo.

En esta parte de la metodología, la revisión se vuelve cada vez más precisa y detallada, como se nombró anteriormente en la primera revisión se basó principalmente en la ventana de tiempo y criterios de inclusión y exclusión según el resumen. En este caso los artículos fueron leídos en su totalidad, para verificar su valor dentro de los criterios y su aprobación. Junto a esto se agregaron ítems de gran valor para la investigación que brindan una cantidad de información valiosa a los resultados, estos ítems fueron: Aceptado o rechazado, criterio, autor(s), título del artículo, año de publicación, país del autor(s), Tipo de documento (artículo, conferencia o capítulo de libro), Tecnología utilizada, aproximación de la tecnología, probado o no, número de muestra, genero, variable medida, fase en la que se encuentra el artículo, objetivo, resultado y conclusión.

Todas estas columnas o ítems ayudan a la extracción de información y a encontrar hallazgos de los resultados. Cabe aclarar que en este punto algunos artículos fueron descartados por no cumplir con los objetivos planteados, en consecuencia, a esto se logró llegar al punto final de la selección de los artículos, dándonos el número final de artículos que serán utilizados en la revisión de literatura por estos contener información clave para el desarrollo de los objetivos.

3.9. Ventana de tiempo

La revisión literaria se basa en los últimos 12 años, debido a la veracidad y variación de las tecnologías a través de los años, además del gran crecimiento de la tecnología 4.0 en los últimos años, esto desde la primera presentación del término 'Industria 4.0 en la feria de Hannover en 2011, e IoT en 2009. Desde este entonces esta industria ha presentado un importante auge en el 2014 y un aumento del IoT con servicios de nube en 2017. Estas tecnologías están en ebullición y poseen un número muy amplio de apariciones de nuevos dispositivos, tecnologías de acceso entre estas la computación en la nube, big data, e inteligencia artificial, enriqueciendo y dando cada día más oportunidades de crecimiento al universo IoT.

3.10. Alcances y limitaciones

Esta revisión de literatura solo toma en cuenta los documentos seleccionados hasta segunda revisión de aceptación y rechazo, donde se junta la información necesaria para el desarrollo del documento. Aquella información existente fuera de esta documentación y de la ventana de tiempo aplicada no será tomada en consideración. Junto a esto la metodología se limita a los criterios de inclusión y exclusión seleccionados y a los documentos encontrados en las bases de datos presentadas. Con el fin de darle solución a los objetivos propuestos, según las fechas estipuladas al inicio de la metodología.

4. RESULTADOS

4.1. Selección de estudios

Una vez aplicada la búsqueda estratégica en las diferentes bases de datos, se obtuvieron los siguientes resultados

- Pubmed: 262 documentos
- IEEE Xplore: 32 documentos
- Scopus:228 documentos

Luego de aplicar los filtros para eliminar duplicados en el documento final, el cual reunía todos los artículos de las diferentes bases de datos, junto a los ítems nombrados en el apartado 3.5 búsqueda de documentos de la metodología, se encontró un número un total de 388 documentos.

4.2. Primera revisión de aceptación o rechazo

Para realizar la primera revisión de documentos, al número de documentos anteriormente nombrado que son un total de 388, se les aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, de este modo como resultado se halló que:

- 50 documentos fueron aceptados por el criterio de inclusión número 1 (Dispositivos que monitorean variables relacionadas a neonatos en incubadora) y solo 1 documento fue rechazado por este mismo criterio.
- 4 artículos fueron aceptados por el criterio de inclusión número 2 (Documentos en español e inglés).
- 35 documentos fueron aceptados por el criterio de inclusión número 3 (Dispositivos que manejen tecnologías de la industria 4.0).
- 166 documento fueron rechazados por el criterio de inclusión número 4 (Documentos desde 2009)
- Solo 1 documento fue rechazado por criterio de exclusión número 1 (Dispositivos implantables)
- 4 documentos fueron rechazados por el criterio de exclusión número 2 (Dispositivos que solo controlen y no monitoreen.)
- 22 documentos fueron rechazados por el criterio de exclusión número 3 (Dispositivos que estén en la fase de diseño teórica tales como modelos matemáticos, ideas, Revisiones, prototipos.)
- 7 documentos fueron rechazados por el criterio de exclusión número 4 (Documentos que solo expliquen una parte del dispositivo. (Eje. sensores, f. alimentación)).
- 87 documentos fueron rechazados por el criterio de exclusión número 5 (Temáticas no relacionadas a los objetivos planteados.)

- 12 documentos fueron rechazados por el criterio de exclusión número 6 (Transporte de neonatos.)

Por consiguiente, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión en la primera revisión, se obtuvieron 88 documentos aceptados y 300 documentos fueron rechazados.

4.3. Segunda revisión de aceptación o rechazo

Una vez realizada la primera revisión, se procedió a como nombra el apartado, a realizar la segunda revisión de los documentos, en este caso la revisión fue más detallada, ya que se leyeron todos los documentos aceptados en su totalidad, una vez esto se cumplió, se procedió a llenar las columnas establecidas y a la extracción de la información de importancia. Al completar lo anterior, se evidencio que algunos de los documentos no cumplían con los criterios de inclusión y exclusión por lo cual estos fueron rechazados, al terminar esta revisión se encontró un total de 50 documentos aceptados y 38 fueron rechazados, entre estos:

- 1 documento fue rechazado por el criterio de inclusión número 1.
- 22 documentos fueron rechazados por el criterio de inclusión número 3.
- 1 documento fue rechazado por el criterio de inclusión número 4.
- 4 documento fue rechazados por el criterio de exclusión número 3.
- 3 documento fue rechazados por el criterio de exclusión número 4.
- 6 documento fue rechazados por el criterio de exclusión número 5.
- 1 documento fue rechazado por el criterio de exclusión número 6.
- 31 documentos fueron aceptados por el criterio de inclusión número 1.
- 19 documentos fueron aceptados por el criterio de inclusión número 3.

Toda esta información de la selección de documentos se puede ver representada a continuación en la Figura 1. Diagrama de flujo de selección de documentos de la revisión de literatura.

4.4. Tipo de documento

De los documentos incluidos 22 de ellos son artículos de revista, 26 documentos presentados en conferencia y 2 capítulos de libros, esto demuestra que el valor entre los documentos de artículos y conferencia es muy similar, dando a entender que son temas que están siendo activamente estudiados en los últimos años, donde se busca innovar y crecer.

4.5. País de origen de los autores

Por otra parte, un ítem muy variable es el país de origen de los autores, en este caso los resultados son muy diversos, ya que los diferentes artículos son presentados por autores de diferentes partes del mundo, se destaca entre ellos la india y países bajos, sin embargo, no se encuentra un país el cual represente la mayoría de los estudios. Estos están divididos por todo el mundo, dando a entender que estos temas están en crecimiento a nivel global, lo cual facilita de gran manera el desarrollo con diferentes tecnologías y metodologías, dando paso a la globalización y a un aumento a la calidad de vida y salud a nivel mundial.

Podemos incluir a esto que aunque la ventana de tiempo es aplicada desde el 2012 como es explicado anteriormente, los artículos que presentan tecnología 4.0 poseen una tendencia a ser evidenciados aparecer a partir del 2015 en adelante, donde en los últimos 5 años ha existido un gran interés y crecimiento en esta área.

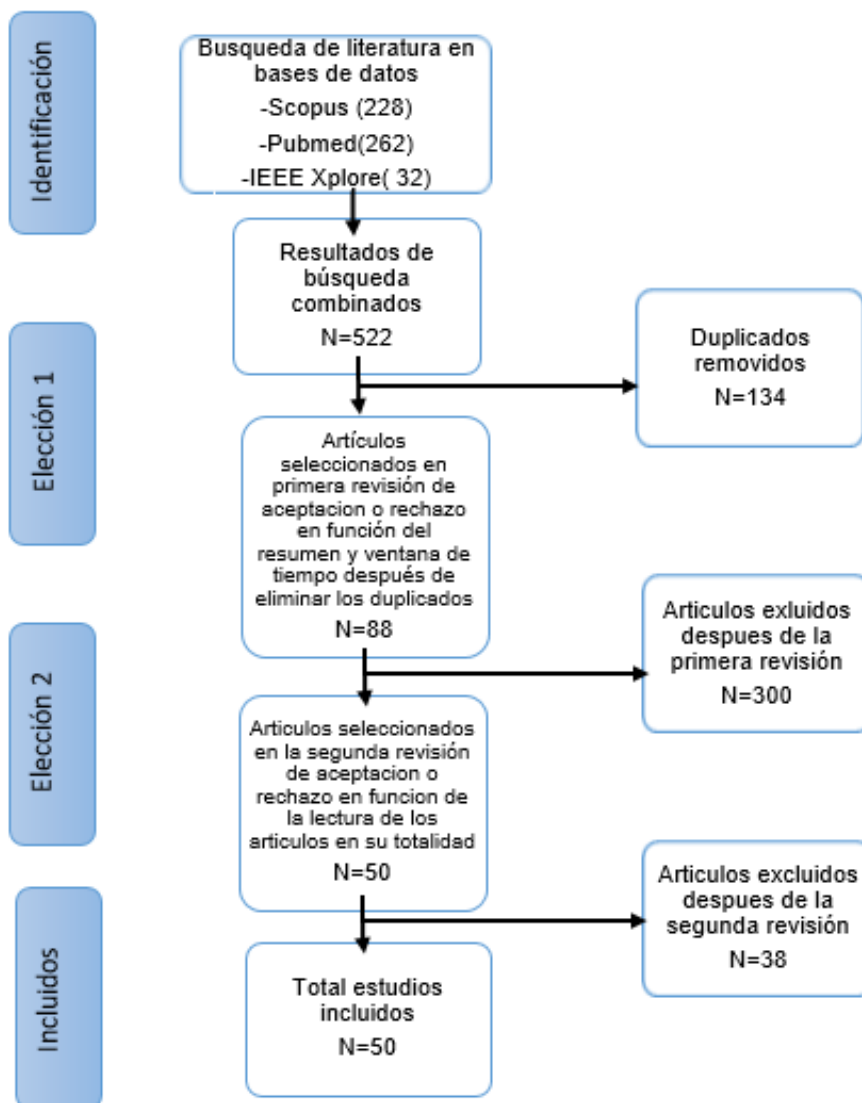


Figura 2. Diagrama de flujo de selección de documentos de la revisión de literatura.

4.6. Tecnologías probadas o no.

Al revisar los documentos, era de gran interés buscar si los dispositivos o tecnologías aplicadas ya habían sido probados o no, al esto representar un punto clave para conocer el estado de madurez de las tecnologías, en este caso, según lo analizado 35 de los 50 documentos han sido probados, solo 1 reporta no haber sido probado, en los 14 restantes no se reporta o especifica esto, lo cual los deja un vacío, sin embargo la gran mayoría de estos muestran tecnologías que demuestran ser viables y funcionales.

4.7. Número de muestra

Ahora bien, el número de muestra no es reportando en muchos casos, en los que sí, este oscila entre grupos de 9 a 32 pacientes, cabe recalcar que estos son en principalmente neonatos a diferencia de unos muy pocos documentos donde la muestra son adultos o solo las incubadoras, pero no representa un valor significativo para la revisión. En ninguno de los artículos se especifica el sexo de los participantes.

4.8. Fase en la que se encuentran los documentos

Es de suma vitalidad nombrar que la gran parte de las tecnologías expuesta en los documentos están en fase de estudio, de igual modo hay un gran número en fase de diseño, como otras en prueba modelo o evaluación, lo cual nos indica que son aún tecnologías muy recientes o no tan desarrolladas como se desearía, ya que muy pocas se encuentran implementadas en el área de la salud.

4.9. Variables

Para finalizar este enumerado, al ser la estrategia de búsqueda basada en ciertas variables que son temperatura, humedad y ruido principalmente, la mayoría de las tecnologías que se encontraron presentan la medición y monitoreo de estas variables, sin embargo, se encontraron algunas otras como frecuencia cardiaca y respiratoria, malestar en expresiones faciales, dilatación ventricular, latidos, respiración y diferentes señales vitales, entre otras.

4.10. Objetivos, resultados y conclusiones generales de los documentos

Como característica común en los documentos que hacen parte de la revisión de literatura, la mayoría de estos documentos tienen como objetivo el monitoreo de alguna variable en incubadoras que mejoren la toma y manejo de los datos, de igual modo lograr una pronta respuesta a los cambios de estas variables, ya que estas variables son un factor vital para el crecimiento óptimo de los bebés, además la prevención y tratamiento de enfermedades, las cuales se presentan principalmente por cambios en variables como la temperatura, la humedad y el ruido dentro de la incubadora.

Como resultados vemos el desarrollo de diferentes diseños, estudios, procesos y otras tecnologías para el monitoreo de forma remota, junto con alarmas y procesamiento de señales que detectan de una forma rápida los cambios presentados en las variables. Paralelamente se observa un claro avance en tecnologías de la industria 4.0 como IoT, cloud, almacenamiento de datos, entre otras, por diferentes técnicas.

Como conclusión de los documentos se evidencia que todas las tecnologías presentadas muestran ser viables y crear alternativas para el monitoreo de neonatos en incubadoras, lo cual representa gran avance para el área de la salud. Por consiguiente, creando un sinfín de nuevas alternativas que permiten disminuir la tasa de mortalidad de prematuros y el desarrollo saludable de los mismos, con menos repercusiones en su futuro.

Toda la información anterior se puede observar de una manera más interactiva en la Tabla I. Resumen de características generales de los estudios incluidos. Mostrada a continuación.

Tabla I.

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS

	Tipo de documento	País de origen de los autores	Tecnologías probadas o no	Número de muestra	Fase	Variables	Objetivos, resultados y conclusiones
Información importante	-22 Artículos de revista -26 presentados en conferencia -2 capítulos de libros	Documentos presentados a lo largo del mundo	35/50 documentos han sido probados	Muestras en general son en grupos de 9-32 neonatos	Principalmente los documentos están en fase de estudio y diseño.	Principales variables estudiadas: temperatura, humedad y ruido.	Objetivo en común: El monitoreo de variables en incubadoras, los resultados demuestran tecnologías funcionales y conclusión un avance en la salud mundial.
Información adicional	La revisión literaria se enfoca en artículos de revista y conferencias.	Países destacados india y países bajos	14 documentos no reportan esta información y 1 no ha sido probado.	En ninguno de los artículos se especifica en género de los participantes.	Son aun tecnologías muy recientes.	Se estudian otras variables como: frecuencia cardiaca y respiratoria, dilatación ventricular, latidos, entre otras.	Estos ítems pueden cambiar mucho al estudiar los documentos de manera individual.

4.11. Tecnología 4.0

La razón principal del desarrollo de la revisión literaria en curso se embarca principalmente en conocer que tecnologías de la industria 4.0 son utilizadas para el monitoreo de recién nacidos en incubadoras y cuál es la madurez tecnológica de la misma. Como se puede observar en la Tabla II. Tecnologías existentes para el monitoreo de diferentes variables de neonatos en incubadoras.

El 52% equivalente a 26/50 documentos estudiados comprende tecnologías que no se encuentran dentro la industria 4.0 y el 48% equivalente a 24/50 documentos estudiados si se centra en tecnologías 4.0. Lo anterior demuestra que muchas de las tecnologías utilizadas poseen un nivel tecnológico alto, pero no en el marco de la industria 4.0. Entre estas tecnologías encontramos:

- 8 tecnologías de monitoreo por cámara de video, entre estas se encuentran diferentes tipos de cámara como PPGI (imaging photoplethysmographic), IR (infrared), RGB (red, green, and blue light), CCD (charge-coupled device), entre otras. Con estas se busca diferentes cosas entre estas encontramos mapeo de

gama y fotopleletismografía. En algunas de esta se utiliza ANOVA que es una técnica de análisis de varianza [10-17].

- 8 tecnologías de los documentos encontrados se basan principalmente en termografía infrarroja obtenidas por medio de cámaras e imágenes, en estos casos se estudia principalmente la variable de temperatura, también encontramos monitoreo de frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno y como aproximaciones encontramos el uso de cámaras para monitoreo continuo y algunas remoto y sin contacto. Entre las tecnológicas encontramos cámaras térmicas IR con detectores. Algunos documentos cuentan con un software agregado como Noldus Observer y otros [3, 5, 7,18-22].
- 7 documentos muestran una variación de diferentes tecnologías no enmarcadas en la tecnología 4.0, entre estas encontramos sistema de imágenes ecográficas en 3D, NFC TAG (Near Field Communication Tag), FPGA (Field Programmable Gate Arrays), Resonancia magnética (donde se aplican pruebas t de Student y U de Mann-Whitney), junto con variaciones para adaptar esta resonancia incubadoras; FDB sensor para monitoreo tiempo real, medidores de sonido y tecnologías para la transmisión inalámbrica de las alarmas. Estas tecnologías están creadas para el monitoreo y medición de diferentes variables unas pocas temperaturas, ruido, dilatación ventricular, resonancia magnética y una muy singular que busca que es la trasmisión inalámbrica de alarma que busca mejorar la interacciones entre el instrumento y el cuidador de la salud [6, 23-28]
- 3 documentos muestras sistemas completos, 2 de ellos para la medición del ruido en incubadoras y el 1 restante para medir y monitorear la longitud, el peso y los latidos de los neonatos. Se comprenden tecnologías como: Neoasis TM, Invictus Medical, sistema ANC (Active Noise Cancellation) y sistemas multisensores realizados con arduino [29-31].

Entrado en esta parte en las tecnologías de la industria 4.0, las cuales comprende principalmente Internet de las cosas, Inteligencia artificial, Big data, Cloud, simulación, machine learning, entre muchas otras, se evidencia que en la revisión de literatura se hallaron:

- 15 documentos donde se aplica internet de las cosas para el monitoreo y control de diferentes variables como temperatura, humedad, el peso, la frecuencia cardíaca, los latidos y niveles de luz, pero se destacan entre todas las variables de temperatura y humedad nombradas en 13/15 documentos. En este caso de aplicaciones de internet de las cosas se usaron diferentes aproximaciones a la tecnología como tecnología Zigbee, sensores y cámaras, conectividad TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) con Ethernet Shield que proporciona conectividad a las tarjetas Arduino. De igual modo algunas otras tecnologías poseen MQTT (Message Queing Telemetry Transport) el cual proporciona conexiones bidireccionales entre dispositivos por red, base de datos SQL y conexiones a diferentes dispositivos como Smart Environment de marca LIBELIUM para la recolección y posterior trasmisión de datos. De la misma forma u factor común es usar los sistemas android y Raspberry pi. Se pueden apreciar otras tecnologías como CoAP (Constrained Application Protocol), URI (Uniform Resource Identifier) para identificación de datos, Long Range Networks (LoRa), interfaz Near Field Communication NFC) y diferentes módulos WiFi [1, 4, 8, 9, 32-42].

- 2 documentos donde se habla claramente de Big Data, el primer implica tecnologías ImageNet, MobileNetV2, Digi-NewB para la detección automática de la presencia de recién nacidos prematuros en la incubadora y en la cama abierta [43]. El segundo comparte tecnología IoT y Big data donde se busca el monitoreo de la temperatura y humedad de los RN este maneja como se nombró en el apartado anterior Long Range Networks (LoRa), interfaz Near Field Communication (NFC) [40].
- 2 documentos enfocados a la información en la nube (Cloud), para el procesamiento y almacenamiento de datos a un nivel masivo, además de producción de alarmas en cambios de la temperatura y peso del neonato, estos poseen interconexiones de los sensores y el sistema como Arduino con LabVIEW [44,45].
- 3 documentos presentan información que sin duda demuestran un gran avance en las tecnologías de machine learning en las cuales se realizan análisis de datos los cuales permiten la automatización, donde los sistemas logran identificar patrones y tomar decisiones frente a los datos adquiridos. En estos documentos es utilizada tecnología deep learning, que es una rama del machine learning. En el primer documento se usan cuellos de botella extraídos de una red neuronal profunda entrenada, que posteriormente clasifica las características según la base de datos [46], de modo similar el segundo documento presenta la clasificación de insalubridad del modelo ESA (Engage, study, and actívale) y la visualización de las salidas de la capa intermedia[47]. Por último se tiene una tecnología compuesta de Big Data y deep learning la cual posee una estrategia de fusión de intervalos de decisión que aprovecha la coherencia temporal. Esta se compone de 3 redes neuronales profundas entrenadas [43].
- Para finalizar contamos con 4 tecnologías de la industria 4.0 enfocadas a la simulación, 2 enfocadas a transferencia de calor con aproximaciones de tecnología en CAD (computer-aided design) general y análisis FEM (Finite element method) junto ANSYS Fluent 19.0 [2,48], 1 con variables enfocadas a temperatura, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria por medio de CDSS (clinical decision support system) [49] y el último que consiste en un simulador de Weblab con House of Quality, Morfological Matrix, Pugh's Method y LabView [50], este estudio presenta laboratorios operados remotamente, que permiten controlar y monitorear sistemas interactivos, esto con fines educativos.

4.12. Afectaciones generales de las variables en el estado de salud de neonatos en incubadoras

Luego de la revisión de los diferentes documentos, se puede inferir que frente a las principales variables, como hallazgo por parte de la temperatura, esta afecta principalmente a los bebés prematuros por no poseer la capacidad de regular su temperatura corporal a las estas poseer bajas tasas metabólicas de generación de calor [2], desarrollando en muchos casos hipotermia e hipertermia [4], además los instrumentos para medir esta variable, al ser de adherencia causan molestias, infecciones y lesiones en la piel [3] por otro lado el no permite bien la limpieza de los neonatos muchas veces y que sus padres los carguen o toquen [7]. Lo cual afecta de manera negativa el desarrollo, calma del bebé. Según estudios los bebés prematuros que reciben cuidados en una incubadora después del nacimiento tienen de dos a tres veces menos probabilidades de sufrir depresión en la

edad adulta. [25]. Al mismo tiempo, los cambios en la temperatura generan estrés e incomodidad a los bebés debido al frío.

Por otro lado, la humedad requiere niveles de control específicos para lograr disminuir la ingesta metabólica y evitar problemas de desarrollo en los prematuros [8]. Por otro lado, el ruido es estudiado debido a que tiene una influencia significativa en el sueño de los bebés. En el caso del ruido, debido a los niveles altos a los que están expuestos los neonatos tanto en el exterior como en el interior de las incubadoras, estos generan eventos estresantes. El cambio repentino de ruidos intensos cambia el comportamiento y actividades corporales de los prematuros, al mismo tiempo se generan respuestas físicas como reflejos de parpadeo y sobresalto, mímica facial, y cambios en su estado de sueño y vigilia [18].

Tabla II
TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA EL MONITOREO DE DIFERENTES VARIABLES DE NEONATOS EN INCUBADORAS.

Tecnologías que no están dentro de la industria 4.0			
%52 26/50			
Tipo de tecnología	%	Aproximación tecnológica	Variables estudiadas
Monitoreo por cámara de video,	%16 8/50	Cámaras como PPGI, IR cámara RGB, CCD, entre otras [10-17].	Temperatura, frecuencia cardíaca, ruido, expresión facial y respiración.
Termografía infrarroja	%16 8/50	Cámaras térmicas IR con detectores. Algunos documentos cuentan con un software agregado como Noldus Observer y otros [3, 5, 7, 18-22].	Temperatura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno
Diferentes tecnologías: imágenes ecográficas en 3D, NFC TAG, Resonancia magnética; FDB, FPGA y procesamiento señales.	%14 7/50	Pruebas t de Student y U de Mann-Whitney, Sensores, medidores de sonido, entre otras [6, 23-28].	Temperatura, ruido, dilatación ventricular, RM y transmisión inalámbrica de alarma.
Sistemas	%6 3/50	Neoasis TM , Invictus Medical, sistema ANC y sistemas multisensores realizados con arduino [29-31].	Ruido, la longitud, el peso y los latidos.
Tecnologías de la industria 4.0			
%48 24/50			
Tipo de tecnología	%	Aproximación tecnológica	Variables estudiadas
IoT	%30 15/50	Tecnología Zigbee, TCP/IP con Ethernet Shield, MQTT, base de datos SQL, android y Raspberry pi. Se pueden apreciar otras tecnologías como CoAP, URI para ID de datos, sistema NIMS, LoRa, NFC y módulos WiFi [1, 4, 8, 9, 32-42].	Temperatura, humedad, el peso, la frecuencia cardíaca, los latidos y niveles de luz.
Big Data	%2 1/50	ImageNet, MobileNetV2, Digi-NewB [43].	Temperatura y humedad.
Cloud	%4 2/50	Interconexiones de los sensores y el sistema como Arduino con LabVIEW [44, 45].	Temperatura y peso.
Machine learning	%4 2/50	Aprendizaje de transferencia profunda y video [46].	Insalubridad del modelo ESA y la visualización de las salidas de la capa intermedia [47].
Simulación	%8 4/50	CAD general y análisis FEM junto ANSYS Fluent 19.0, CDSS simulador de Weblab con House of Quality, Morfological Matrix, Pugh's Method y LabView [2, 48- 50].	Temperatura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y transferencia de calor.

5. DISCUSIÓN

Esta revisión de literatura se centró en responder a los objetivos planteados, como primera parte se encontró un número de 50 documentos en los cuales se evidencian diferentes tipos de dispositivos médicos y no médicos, que poseen la capacidad de monitoreen diferentes variables en incubadoras para recién nacidos prematuros, los cuales utilizan tanto tecnologías de la industria 4.0 como tecnologías que no están presentes en esta industria. Al hacer lo anterior, se crea una revisión bibliográfica muy completa, aunque los temas principales estudiados no poseen demasiados documentos, donde se realiza un análisis crítica integral de los documentos seleccionados.

Basándonos en los resultados presentados, se puede dar bastante información sobre las tecnologías existentes en el monitoreo de prematuros, por un lado las tecnologías que no son de la industria 4.0 representan la mayoría de documentos seleccionados, esto se puede deber a que son temas que hay sido estudiados por muchos más años, donde existen muchos componente los cuales ya están desarrollados en su totalidad, por lo cual varias de estas tecnologías ya están en fase de estudio y posible implementación. De igual modo se evidencia que existen bastantes tecnologías para el monitoreo de prematuros por medio de cámaras de video de diferentes tipos y por termografía infrarroja, como se nombró anteriormente estas tecnologías vienen siendo estudiadas hace bastantes años por lo cual implementarlas resulta más fácil y muestran evidencia científica de ser funcionales y seguras.

Se presentan otras tecnologías como sistemas de procesamiento de señales e imágenes, resonancia magnética e imágenes ecográficas en 3D, estas se basan principalmente de adaptaciones hacia incubadoras y son parte de tecnologías ya existentes e implementadas en el área de la salud. En el caso de los NFC TAG (Near Field Communications-TAG) y FPGA (Field Programmable Gate Arrays) son tecnologías más específicas encontradas, las cuales buscan diferentes alternativas para la medición de las variables, sin embargo están principalmente en una fase de diseño y utilizan mecanismo y componentes que pueden ser un poco riesgosos al ser expuestos a los bebés. Sin embargo, dan un gran paso al camino hacia la programación de tarjetas programables y software, en estas se hace mucho uso de sensores comerciales, los cuales pueden ser una ventaja al ya conocer sus limitaciones y funcionamiento.

Como una parte fundamental de esta revisión son las tecnologías de la industria 4.0, se analizó a fondo esta parte, siguiendo los resultados, la tecnología más utilizada porcentualmente tanto en la totalidad de los documentos, como en las tecnologías 4.0 es el IoT (Internet de las cosas), representando el 30% de todas las tecnologías, este es implementado para la obtención y monitoreo de diferentes variables, principalmente temperatura y humedad, donde en sus aproximaciones tecnológicas se observa que en la actualidad existente varios componentes que facilitan el desarrollo del IoT, esto se debe al gran crecimiento que ha tenido el internet y wi fi a lo largo de los últimos 20 años . En esta tecnología se evidencia el mayor número de diferentes componentes, sistemas y software. Lo cual demuestra un avance muy positivo frente al aumento de esta tecnología y pronta implementación en el área de la salud. Estos documentos principalmente están en fase de

diseño y algunos en estudio, pero demuestran ser funcionales, se debe buscar la seguridad de estos nuevos proyectos tanto para los prematuros como para el personal médico. Al implementar estas tecnologías se vería un avance muy grande en el monitoreo remoto y constante de los bebés por medio de dispositivos con los que estamos en contacto todo el tiempo como celulares, tablets y computadores.

Es claro que también se ve un avance en diferentes tecnologías de la industria 4.0 como el Big data, cloud, simulación y machine learning, aunque estas tecnologías porcentualmente están siendo menos estudiadas, no quita la posibilidad de ampliarlas a un nivel masivo. Al tener estas tecnologías en un futuro desarrolladas, se podrán crear sistemas capaces de tomar decisiones propias con poca intervención humana, los cuales podrán prevenir complicaciones, crear alarmas instantáneas y hasta anticiparlas. Por otro lado, se tendrá una gran capacidad de almacenamiento de datos y manejo de los mismos. Dando paso al monitoreo y medición de cada vez más, disminuyendo en forma significativa la mortalidad de los neonatos.

Como parte de los objetivos, está el estado de madurez tecnológica de las soluciones de recién nacidos en incubadoras. Para contextualizar existen 9 niveles para definir el estado de madurez tecnológica, desde los principios básicos hasta las pruebas con éxito en un entorno real. Por consiguiente, según lo analizado anteriormente, el estado de madurez tecnológica de las soluciones de recién nacidos en incubadoras lo debemos dividir en dos, uno para las tecnologías no pertenecientes a la industria 4.0, las cuales en su mayoría se encuentran en un nivel 7: Validación de sistema en un entorno real. Esto debido a que la mayoría de estas tecnologías se encuentran en fase de estudio, donde se han realizado pruebas con grupos de neonatos de 9- 32, claramente no son pruebas a nivel masivo, pero muestran la funcionalidad y viabilidad de estas tecnologías.

Por otro lado, encontramos las tecnologías de la industria 4.0. Para estas tecnologías, tanto el IoT que es el más desarrollado y estudiado, como las demás tecnologías de la industria 4.0 se sitúan en un nivel general de 4: Validación a nivel de componentes en laboratorio. [51] Debido a que la mayoría de estos documentos y proyectos están en una fase de diseño y solo algunos presentan pruebas en entornos reales, sin embargo, hablando en forma general estas tecnologías aún están en desarrollo y presentan un nivel bajo de madurez tecnológica, por lo cual se debe buscar la manera de crear mayores pruebas en entornos reales, para poderlas implementar en un futuro cerca en el área de la salud, como dispositivos de uso diario.

Para el área empresarial, en este caso el hospital universitario de la Samaritana. Se evidencia que según los resultados encontrados, junto al resto de la discusión que las tecnologías están aún en un punto muy temprano de madurez tecnológica, especialmente las tecnologías 4.0 que son de mayor interés para la institución al ser más precisas en el monitoreo de los recién nacidos. Además del interés del hospital en ampliar la telemedicina. Por ello los proyectos de inversión en estas áreas aún deben esperar algunos años para ser desarrollados y para adquirir nuevos equipos que posean estas tecnologías, ya que para ser implementados allí, deben estar probados en el ambiente clínico, cumplir requisitos de ley e invima y estar disponibles en el mercado para su compra. Sin embargo la revisión de literatura, resulta de gran interés para conocer tecnologías existentes, crear una proyección a futuro de posibles inversiones y ayudar al crecimiento de las mismas tecnologías al ser un hospital con gran influencia en la investigación.

Para finalizar esta discusión, como se presentó en los resultados, existen bastantes afectaciones en el estado de salud del recién nacido en incubadoras, estas ligadas a diferentes variables. Claramente los bebés prematuros requieren un nivel de cuidado demasiado alto y cualquier cambio en las variables que se salga de los parámetros sanamente establecidos va a generar posibles problemas en los bebés, desde enfermedades momentáneas, como a futuro. Además de posibles enfermedades como depresión en edades más avanzadas. Estas enfermedades pueden generar en el caso más desafortunado la muerte del prematuro, al este no poder superar las afectaciones producidas por diferentes variables que son vitales para su vida y desarrollo.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Esta revisión de literatura deja una base para revisiones futuras frente a este tema, como otros relacionados con tecnologías implementadas al monitoreo de prematuros en incubadoras, de igual modo sirve para tener una idea clara de el nivel de madurez tecnológica actual de estas tecnologías y de las afectaciones de ciertas variables hacia los prematuros. Se recomienda que en trabajos futuros buscar un número mayor de tecnologías que se encuentren implementadas en el área de la salud, con niveles altos como 9 en madurez tecnológica, las cuales sean utilizadas en el día a día.

De igual modo se recomienda el uso de un número mayor de bases de datos, las cuales puedan brindar otros documentos, que pueden que no estén disponibles en las bases de datos utilizadas en esta revisión, en este orden de ideas, para trabajos futuros se pueden cambiar los criterios de inclusión o exclusión, en los cuales se pueden buscar ventanas de tiempo diferente, donde se acepten documentos no solo en español e inglés. Además, otros tipos de dispositivos como dispositivos implantables o solo de control.

La recomendación para el hospital es continuar con proyectos de inversión en tecnologías que ya se encuentren en un estado de madurez tecnológica alto, probadas en áreas clínicas. Sin perder el interés en las tecnologías explicadas en este documento, las cuales pueden ser de gran utilidad en algunos años. Se puede continuar con la búsqueda de más tecnologías enfocadas a las necesidades, presupuesto del hospital y disponibilidad en el mercado actual.

Por último, esta búsqueda se redujo de manera significativa al excluir dispositivos que estuviesen en la fase de diseño teórica, como modelos matemáticos e ideas, junto a documentos que solo explicasen una parte del dispositivo. De esta forma, para trabajos futuros se recomienda estudiar estos documentos y dispositivos.

7. CONCLUSIONES

Luego de realizar toda la revisión de literatura, se puede concluir que existe diferentes dispositivos médicos y no médicos que poseen la capacidad de monitorear diferentes variables en incubadoras para recién nacidos prematuros, estos dispositivos cubren diferentes tecnologías, tanto de la industria 4.0, como otras que no. Estas tecnologías aún se encuentran en un nivel de madurez tecnológica muy temprana, siendo las tecnologías no pertenecientes a la industria 4.0 las más desarrolladas.

Esta revisión posee grandes ventajas para enmarcar un panorama actual del desarrollo tecnológico de las temáticas planteadas, sin embargo, aún se cuenta con poca información al respecto. Dando paso a un campo amplio de estudios futuros, los cuales deben tener en cuenta conceptos más precisos. Esto, teniendo en cuenta que la presente revisión es un barrido general de la información disponible, en donde no se tienen en cuenta documentos de mayor especificidad, los cuales, pueden facilitar el desarrollo de estas tecnologías. De igual modo esta revisión brinda una base para revisiones y proyectos futuros.

En el área empresarial, este tipo de revisiones de literatura sirve para conocer como ampliar las tecnologías de la institución en un futuro, además de estar actualizados en los nuevos dispositivos que son creados día a día, los cuales pueden ser implementados en algunos años en el hospital. Creado una institución equipada con tecnologías cada vez más avanzadas y funcionales. De este modo se puede eliminar más rápido equipos que pueden ser obsoletos o remplazarlos por algo mejor. Además conociendo esta información y juntándolo con la gran área de investigación del hospital, se puede ayudar al crecimiento de las mismas tecnologías presentadas, crear nuevas y servir para sus pruebas e implementación.

Finalmente, la cantidad de variables que pueden ser estudiadas en estos temas son casi infinitas, en esta revisión se presentan principalmente tres, sin embargo en el transcurso de la misma se encontraron muchas más, las cuales también son vitales para conocer el estado de salud de los prematuros, junto a su comodidad, niveles de estrés, entre otros. Gracias a esta revisión se vio el gran impacto que puede tener el funcionamiento correcto de una incubadora en cuanto a su seguridad y salud de los prematuros.

REFERENCIAS

- [1]. B. Radhika, V.R. Sheshagiri Rao, " Incubator baby parameter sensing and monitoring", *International Journal of Innovative Technology and Exploring (IJITEE)*, vol. 8,no. 7, pp. 2945-2947, May 2019.
- [2]. A. Hannouch, T. Lemenand, K. Khoury, and C. Habchi, "Coupled radiative and convective heat losses from preterm infant inside an incubator with radiant heaters," in COUPLED VIII: proceedings of the VIII International Conference on Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering, 2019, pp. 342–347.
- [3]. E. Koscheeva, K. Slastnikov, A. Chupov and A. Konstantinova, "Non-Contact Temperature Mapping for Neonatal Intensive Care Unit," *2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)*, 2021, pp. 0060-0062.
- [4]. S. Inam, M. Qureshi, F. Amin, M. Akmal, M.Z. Rehman, " AUTOMATED CRADLE with INCUBATOR for INFANTS", *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, vol. 32, no. 5, 2020.
- [5]. A.K. Abbas, S. Leonhardt, "Intelligent neonatal monitoring based on a virtual thermal sensor", *BMC Med Imaging*, vol. 14, no. 9, Feb 2014.
- [6]. M. Burunkaya, M. Yucel, "Measurement and Control of an Incubator Temperature by Using Conventional Methods and Fiber Bragg Grating (FBG) Based Temperature Sensors", *J Med Syst*, vol. 44, no. 178, Ago 2020.
- [7]. J.H. Klaessens, M. van den Born, A. van der Veen, J. Sikkens-van de Kraats, F.A. van den Dungen, R.M. Verdaasdonk, "Development of a baby friendly non-contact method for measuring vital signs: First results of clinical measurements in an open incubator at a neonatal intensive care unit", *Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems XII*, 2014, vol. 8935.
- [8]. S. Netto, P.F Santana, A.M.C de Moraes, C.L. Bezerra, F, Lima, " Remote Monitoring of Temperature and Humidity—A Reliable and Inexpensive Device Development Applied in Neonatal Incubators", *IFMBE Proceedings*, vol. 70, no. 1, pp. 695-699, Ene 2019.
- [9]. M. Zhao, H. Duan, W. Huang and K. Sun, "Central Real-time Monitoring System for Premature Baby Incubator," *2020 IEEE 3rd International Conference of Safe Production and Informatization (IICSPI)*, 2020, pp. 385-390.
- [10]. M.D. de Oliveira, C.I. Fujinaga, A.M. Leite, C.M. Salla, C.G. da Silva, C.G. Silvan, "Exposure and reactivity of the preterm infant to noise in the incubator", *Codas*, vol. 31, no.5, Nov 2019.
- [11]. W. Wang, A.C. den Brinker, G. de Haan, "Full video pulse extraction", *Biomedical optics express*, vol. 9, no. 8, pp. 3898-3914, Jul. 2018.
- [12]. C. Deguines, L. Dégrugilliers, L. Ghyselen, K. Chardon, V. Bach, P. Tourneux, "Impact of nursing care on temperature environment in preterm newborns nursed in closed convective incubators", *Acta Paediatr*, vol. 102, no. 3, pp. 96-101, Mar. 2013.
- [13]. X. Wang, Z. Zhuo, H. Fu, G. Deng, B. Gao, "Infant Incubator Temperature Monitoring Difference Analysis and Research". *Zhongguo Yi Liao Qi Xie Za Zhi*, vol. 40, no. 2, pp. 128-130. Mar 2016.
- [14]. J. Han, L. Hazelhoff, P.H With, "Neonatal Monitoring Based on Facial Expression Analysis", *Neonatal Monitoring Technologies: Design for Integrated Solutions*, pp. 303-323, 2012.
- [15]. J. Jorge *et al.*, "Non-Contact Monitoring of Respiration in the Neonatal Intensive Care Unit," *2017 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017)*, 2017, pp. 286-293.

- [16]. J.C. Cobos, M. Abderrahim, J. Martínez, "Non-Contact, Simple Neonatal Monitoring by Photoplethysmography." *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 12, pp. 4362, Dec. 2018.
- [17]. N. Blanik, K. Heimann, C. Pereira, M. Paul, V. Blazek, B. Venema, T. Orlikowsky & S. Leonhardt, "Remote vital parameter monitoring in neonatology – robust, unobtrusive heart rate detection in a realistic clinical scenario", *Biomedizinische Technik*, vol. 61, no. 6, pp. 631-643, Oct 2016.
- [18]. R.B Knobel, J Levy, L. Katz, B. Guenther, D. Holditch, "A pilot study to examine maturation of body temperature control in preterm infants", *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs*, vol. 42, no. 5, pp. 562-74, Sep 2013.
- [19]. K. Rassels and P. French, "Accurate Body Temperature Measurement of a Neonate Using Thermography Technology," *2021 Smart Systems Integration (SSI)*, 2021, pp. 1-5.
- [20]. M. Villarroel, A. Guazzi, J. Jorge, S. Davis, P. Watkinson, G. Green, A. Shenvi, K. McCormick, L. Tarassenko, "Continuous non-contact vital sign monitoring in neonatal intensive care unit", *Healthc Technol Lett*, vol. 1, no. 3, pp. 87-91, Sep 2014.
- [21]. A.K Abbas, K. Heiman, K. Jergus, T. Orlikowsky, & S. Leonhardt, "Neonatal Infrared Thermography Monitoring", *Neonatal Monitoring Technologies: Design for Integrated Solutions*, pp. 84-124, Ene 2012.
- [22]. E. Musialik-Swietlińska, K. Wojaczyńska-Stanek, J. Swietliński, R. Koprowski, R. Krawczyk, K. Bober, "Thermal comfort in preterm babies. Infra-red colour thermography findings. Preliminary report", *Med Wieku Rozwoj*, vol. 15, no. 1, pp. 79-83, Jan-Mar 2011.
- [23]. J. Kishimoto, S. de Ribaupierre, D.S Lee, R. Mehta, K. St Lawrence, A. Fenster, "3D ultrasound system to investigate intraventricular hemorrhage in preterm neonates", *Phys Med Biol*, vol. 58, no. 21, pp. 7513-26, Nov 2013.
- [24]. J. I. de Oliveira Filho and M. E. do Prado Villarroel Zurita, "Development of NFC TAG for temperature sensing of premature newborns in neonatal incubators," *2017 2nd International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT)*, 2017, pp. 1-4
- [25]. B. Navaneethakrishnan, P. Neelamegam, "FPGA-based temperature monitoring and control system for infant incubator", *Sensors and Transducers*, vol. 143, no. 8, pp. 88-97, Ene 2012.
- [26]. K. O'Regan, P. Filan, N. Pandit, M. Maher, N. Fanning, "Image quality associated with the use of an MR-compatible incubator in neonatal neuroimaging", *Br J Radiol*, vol. 85, no. 1012, pp. 363-367, Abr. 2012.
- [27]. E. Altuncu, L. Akman, S. Kulekci, F. Akdas, H. Bilgen, E. Ozek, "Noise levels in neonatal intensive care unit and use of sound absorbing panel in the isolette", *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, vol. 73, no. 7, pp. 951-953, Jul 2009.
- [28]. S. Sahoo, B. Champaty, K. Pal, S. S. Ray and D. N. Tibarewala, "Wireless transmission of alarm signals from baby incubators to neonatal nursing station," *2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES)*, 2014, pp. 1-5.
- [29]. G. Hutchinson, L. Du, K. Ahmad, "Incubator-based Sound Attenuation: Active Noise Control in a Simulated Clinical Environment", *PLoS One*, vol.15, no.7, e0235287, Jul 2015.
- [30]. L. Liu, K. Kuo and S. M. Kuo, "Infant cry classification integrated ANC system for infant incubators," *2013 10th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL (ICNSC)*, 2013, pp. 383-387.
- [31]. S. Purwiyanti, S. R. Sulistiyanti, F. A. Setyawan, B. M. Wibisono, K. s. Atmaja and H. Fitriawan, "Multisensors System for Real Time Detection of Length, Weight, and Heartbeat of Premature Baby in The Incubator," *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 2018, pp. 85-88.

- [32]. S. Inam, M. F. Qureshi, F. Amin, M. Akmal and M. Z. Rehman, "Android based Internet Accessible Infant Incubator," *2019 8th International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT)*, 2019, pp. 25-29.
- [33]. M. Irmansyah, E. Madona, A. Nasution, "Design and application of portable heart rate and weight measuring tool for premature baby with microcontroller base", *International Journal of GEOMATE*, vol. 17, no. 61, pp. 195-201, Sep 2019.
- [34]. P.T. Kapen, Y. Mohamadou, F. Momo, D. K. Jauspin, N. Kanmagne, D.D. Jordan, "Development of a neonatal incubator with phototherapy, biometric fingerprint reader, remote monitoring, and heart rate control adapted for developing countries hospitals", *Journal of Neonatal Nursing*, vol. 25, no. 6, pp. 298-303, 2019..
- [35]. C. S. Bosoc, G. Suci and A. M. Drăgulescu, "Environmental monitoring system in incubators for newborns," *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2019, pp. 1-4.
- [36]. P. Kshirsagar, V. More, V. Hendre, P. Chippalkatti, K. Paliwal, "IOT Based Baby Incubator for Clinic", *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 570, pp. 349-355, Ene 2020.
- [37]. L. Nachabe, M. Girod-Genet, B. ElHassan and J. Jammal, "M-health application for neonatal incubator signals monitoring through a CoAP-based multi-agent system," *2015 International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)*, 2015, pp. 170-173.
- [38]. J. I. de Oliveira Filho, O. da Mota Almeida, N. Yousef and K. N. Salama, "Non-invasive IoT sensing and monitoring system for neonatal care," *2019 31st International Conference on Microelectronics (ICM)*, 2019, pp. 90-93.
- [39]. A.G Shabeeb, A.J. Al-Askery, Z.M. Nahi, "Remote monitoring of a premature infants incubator", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 17, no. 3, pp. 1232-1238, Mar 2020.
- [40]. S. Sendra, P. Romero-Díaz, J. Navarro-Ortiz and J. Lloret, "Smart Infant Incubator Based on LoRa Networks," *2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 2018, pp. 1-6.
- [41]. B. Ashish, "Temperature monitored IoT based smart incubator," *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 2017, pp. 497-501.
- [42]. H.K. Sangreskop, "Thermal care and saline level monitoring system for neonatal using IoT", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, pp. 619-625.
- [43]. R. Weber, S. Cabon, A. Simon, F. Porée and G. Carrault, "Preterm Newborn Presence Detection in Incubator and Open Bed Using Deep Transfer Learning," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 25, no. 5, pp. 1419-1428, May 2021.
- [44]. J.I. de Oliveira Filho, O. da Mota Almeida, "Cloud-based monitoring system and risk management for premature newborns," *2017 2nd International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT)*, pp. 1-6, Sep 2017.
- [45]. D. -A. Ivascu and M. -S. Munteanu, "Low-cost environmental monitoring system for incubators used in maternity hospitals," *2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 2021, pp. 1-6.
- [46]. R. Weber, A. Simon, F. Porée and G. Carrault, "Deep transfer learning for video-based detection of newborn presence in incubator," *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2020, pp. 2147-2150.
- [47]. A. H. Örnek and M. Ceylan, "Explainable Features in Classification of Neonatal Thermograms," *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2020, pp. 1-4.

- [48].A. Wongkamhang, P. Phasukkit, S. Airphaiboon, C. Pintavirooj, N. Thongpance and A. Sanpanich, "3D finite element analysis of heat transfer efficiency in double wall infant incubator," *The 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference*, 2012, pp. 1-5, 2012.
- [49]. A.A Sobowale, O.M. Olaniyan, O. Adetan, O. Adanigbo, A. Esan, A.T. Olusesi, W.B. Wahab & O.A. Adewumi, "Implementation of a Clinical Decision Support Systems-Based Neonatal Monitoring System Framework" *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 11, no.9, pp. 372-377, Oct 2020.
- [50]. K. Bauer and L. A. Mendes, "Weblab of a control experiment in a newborn baby incubator," *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 2015, pp. 163-171.
- [51]. J. M. Ibañez, "Niveles de madurez tecnológica, Technology readiness levels: TRLS: una introducción", *Economía Industria*, no. 393, pp. 165-171, 2014.