

Sistema de monitoreo de lactantes durante el sueño para la disminución del síndrome de muerte súbita

Diego Bertolini, Filippo Comandini, Universidad de Palermo

Resumen—Desarrollo de un dispositivo que realice la tarea de monitorear a un bebé durante las horas de sueño a través de distintos sensores los cuales permitirían controlar la respiración, movimiento y temperatura entre otros, incorporados a una cuna o sector donde descansa el lactante, y con un costo de fabricación muy bajo. Además incorpora una forma de alerta hacia los padres o tutores ante la detección de variaciones drásticas en los distintos indicadores de datos que se toman desde los sensores y serán visualizados a través de una aplicación móvil.

I. INTRODUCCIÓN

El síndrome de muerte súbita en el lactante (**SMSL**) se define como la muerte repentina, inesperada y sorpresiva de un niño generalmente menor de un año de edad, que si bien la muerte súbita no es exclusiva del lactante ya que puede presentarse en niños mayores, jóvenes y adultos, pero en la mayoría de los casos se da en el lactante y es hacia ese enfoque en donde se desarrolla el presente trabajo de investigación. Gran parte de los padres primerizos enfrentan con mucho temor los primeros meses de vida de un hijo, pues es en esa época en donde se presentan situaciones desesperantes en el cuidado del recién nacido con el conocido síndrome de muerte súbita, y en el caso de que ocurriera, ésta resultaría ser una situación realmente desgarradora en donde muy pocas familias están preparados para afrontar este hecho. El concepto y desarrollo sobre el síndrome en cuestión se encuentra en la cita [1] basados en un trabajo de revisión sobre las causas y factores de riesgo.

A través de los años se ha avanzado de manera contundente en el estudio sobre el conocido síndrome de muertes súbitas en lactantes con pocos días de vida. Ésto permitió desarrollar una serie de medidas y dispositivos que permitirían la reducción significativa del número de muertes producidas por dicha problemática. Existen muchos dispositivos creados por otros investigadores pueden encontrarse, por ejemplo en la citas [2] y [3] donde requiere la utilización de un baby monitor agregado y un dispositivo radar doppler para el monitoreo de la actividad cardiopulmonar, o por ejemplo otro caso [4] o [5] en donde el proyecto se basa en el monitoreo del ritmo de respiración basado en prendas de vestir en un diagnóstico de 10 minutos. Estos proyectos implican un costo mayor al que es implementado en este sistema actualmente presentado o incluso con monitores que implican tener cierto tipo de contacto invasivo con el lactante y colocación del mismo previo a la toma de mediciones. El presente proyecto representa una forma muy económica de monitorear al bebé y de una forma que no requiera invasión por contacto o atención de colocación de dispositivos previo al sueño, acompañando

de esta forma al simple estilo de vida normal llevado adelante por los padres y tutores.

I-A. Muerte súbita

En la antigüedad se desconocían cuáles eran los factores principales que causaban el SMSL, hasta en muchos casos se le atribuían ciertas creencias religiosas por la ocurrencia de semejante tragedia, que hoy en día podría llegar a verse reflejado por las diferentes culturas existentes a lo largo y ancho del mundo. Incluso décadas atrás se hacía muy difícil tomar estadísticas basadas en casos puntuales y así desarrollar predicciones que pudieran llevar a desencadenar semejante tragedia, por consiguiente y sin estudios fundados, los padres o tutores de los lactantes llegaban a tomar ciertas medidas para controlarlos de manera más cercana y evitar tragedias, pudiendo ser o no de ayuda, pero en una gran cantidad de casos sin saber que pudieran estar contribuyendo a esta gran problemática.

Existen distintos factores que han sido estudiados según casos precedentes y destacados en el asunto a ser sociales, maternos y perinatales que están altamente relacionados con el SMSL. Los factores sociales son los más significativos en lo que hace referencia a las sociedades con un pobre nivel educacional y económico, siendo causante de un importante número de muertes causadas dentro de dichas circunstancias. Los factores maternos tiene que ver con la edad de la madre, que al ser inferior a unos 20 años existe un menor cuidado y tiempos intergenésicos más acotados, lo cual es considerado como un riesgo para el lactante. Puesen encontrarse ciertos factores referenciados en la cita [6] en donde se encuentran nuevas recomendaciones para evitar el SMSL, además de una representación en una tabla comparativa de indicadores referidos a mortalidad por el síndrome durante los años 1991 y 1998, diferenciadas por distintas categorías destacadas.

Transcurrido un tiempo y habiendo realizado estudios contundentes sobre el síndrome en cuestión, se lograron obtener ciertos factores determinantes para estudiar probabilidades y así concientizar sobre métodos de prevención o mecanismos fisiopatológicos.

I-B. Estudios realizados en víctimas del SMSL

Ante aquellos trágicos y lamentables casos en donde ha ocurrido éste síndrome, se han realizado distintos análisis e inspecciones con los que se puede obtener ciertas conclusiones o motivos por los cuales ocurrió el mismo. En algunos casos la muerte súbita recide en algún historial o causante ya conocido y diagnosticado previamente por ejemplo

problemas del metabolismo, algunas cardiopatías congénitas, traumatismos, anomalías del sistema nervioso central, etc., en los cuales no se va a enfocar la presente investigación. En los otros casos en los cuales la presente investigación sí va a hacer incapié se basa en casos donde no se han identificado malos cuidados o falta de nutrición e hidratación, o incluso antecedentes clínicos, sino en los casos en los que por ejemplo las causas de muerte se han detectado por el hallazgo de líquidos blanquecinos en las cavidades pulmonares o vías respiratorias superiores compatibles con leche, por lo que se determina el fallecimiento por asfixia causada por vómitos, apnea, o casos de movimiento nocturno que comprometen en la respiración del lactante ocasionando otra forma de asfixia. En el estudio del entorno familiar y su ambiente en donde ocurren estos casos es fundamental para encontrar distintos tipos de riesgos que pudieran reducirse. La referencia hacia este artículo [7] pudiera llegar a ampliar la indentificación de ellos.

II. CASOS DE ESTUDIO

En ésta sección se mencionan los aspectos principales a ser estudiados dentro del entorno en el cual se desarrolla la actividad diaria en cada hogar con respecto al área donde descansa el bebé, para así obtener datos específicos y reducir riesgos. Las áreas de estudio se describen como por ejemplo la cuna donde descansa el bebé, el posicionamiento del lactante dentro del área de estudio, la temperatura corporal, la respiración y sus movimientos.

El cuidado de bebés durante las horas de sueño es un proceso altamente demandante y estresante en tiempo para las personas a cargo. La tarea incluye el control de ciertos factores que determinan el bien estar del bebé y el análisis de disminución de riesgos ante tragedias de muerte súbita durante ese proceso. En el ambiente en el que se encuentra existen variables como la luz, temperatura, humedad, ruido e incluso la calidad del aire o la ausencia de determinados gases que pueden ser dañinos para un bebé. El objetivo del presente proyecto es analizar datos obtenidos por los sensores dentro del ambiente en el cuál se van a enfocar en el movimiento, respiración y temperatura del bebé, para así identificar emergencias que pueden ser causadas por episodios que desencadenen en una muerte súbita por obstrucción de las vías respiratorias, ante los cambios drásticos de los indicadores o variables ambientales.

El proyecto se focaliza en realizar el control de estas variables, facilitando la tarea de las personas a cargo en cuando al control que realizan noche tras noche y ofreciendo mayor tranquilidad en el cuidado. Esta tecnología nos permite identificar episodios en los cuales comprometen la salud del bebé ya sea por movimientos que puedan generar una obstrucción en las vías respiratorias, vómitos durante la noche y en una posición comprometida, posibles casos epilépticos con un exceso de movimiento, para finalmente notificar a las personas encargadas del cuidado del lactante y tomar medidas inmediatas.

II-A. Cuna o área analizada

Desde su nacimiento hasta algunos meses después, los bebés tienen los músculos poco desarrollados como para poder evitar posiciones o incidentes indeseados que generen desenlaces dramáticos. La cuna es el principal lugar donde el bebé descansa y pasa la mayor parte del día, y en donde los padres o tutores pierden la atención mayor cantidad del tiempo sobre todo por las noches. A través del tiempo se hicieron cambios en el diseño de las cunas para mejorar la calidad de vida de los pequeños, ya sea haciéndolas más ergonómicas, previniendo malas posturas y hasta utilizando ingeniería en materiales para evitar el desarrollo de agentes biológicos que pueden ser dañinos para seres humanos sin un sistema inmunológico completamente desarrollado. La utilización de materiales indicados en la construcción de una cuna son altamente demandados, al igual que pinturas y adornos no tóxicos, ya que es inevitable que un bebé ocasionalmente se lleve a la boca y muerda lo que tiene a su alcance. Siguiendo estos lineamientos de cuidado para los recién nacidos, este proyecto realiza la implementación de un sistema de sensores a estas cunas, sin entrar en contacto directo con el bebé como por ejemplo en la cita [8].

II-B. Posicionamiento dentro del área de estudio

La idea principal de éste análisis es el de determinar si el cuerpo del bebé se encuentra dentro de la zona de estudio, de manera tal de determinar si el sistema está en condiciones de realizar los monitoreos pertinentes o bien notificar hacia las personas responsables sobre el incidente detectado, que pudiera ser causado o no por el movimiento del lactante en un desplazamiento sobre la cuna. La funcionalidad sobre la detección del bebé dentro de la zona de estudio se basa en la habilitación de los sensores correspondientes para la toma de información, es decir que si el sistema detecta la ausencia del lactante, los indicadores recolectados tanto de temperatura o movimiento estarían fallando en los datos sensoreados, por lo tanto dichos indicadores deberían ser descartados.

II-C. Temperatura corporal

La temperatura del bebé debe ser controlada, no solo por cuestiones de determinar o ayudar a la toma de estadísticas que hagan al disparo de alertas por problemas, como también para llevar un control periódico. De ésta forma los tutores, padres o responsables pudieran llegar a analizar a lo largo del tiempo, por datos almacenados en un período de tiempo, la fluctuación de los valores, detectar si existe una elevación de su temperatura para detectar fiebres, o incluso la pérdida del calor corporal por otras causas.

II-D. Respiración

La respiración es uno de los factores o indicadores principales en los cuales se va a enfocar este sistema. Uno de los principales problemas que causan el SMSL son causados por los movimientos nocturnos que dejan mal posicionados al bebé generando una obstrucción en las vías respiratorias. De misma

manera ocurre en otras incidencias causadas por vómitos nocturnos con el bebé posicionado en una forma desfavorable para la expulsión completa de los líquidos segregados, causando así también una obstrucción en las vías respiratorias.

La idea es que mediante ciertos sensores incorporados en el lugar de la conciliación del sueño se pueda detectar la constante vibración causada por los movimientos de respiración del lactante. La necesidad de contar con sensores altamente sensibles es indispensable para la detección satisfactoria de la vibración causada por la respiración sobre la superficie donde duerme el lactante. A lo largo de la investigación de éste trabajo se han encontrado diferentes proyectos que contemplan el análisis de estos parámetros de entrada, desde plataformas posicionadas por debajo del bebé, hasta dispositivos colocados en prendas de vestir o cinturones colocados en el abdomen. Una de las formas que se van a implementar para el presente trabajo de investigación reside en una plataforma que está posicionada debajo del lactante, de forma tal de tomar los indicadores o mediciones requeridas de la manera menos invasiva y natural posible.

También es importante destacar que ante la lectura del posicionamiento del bebé dentro del área de estudio, éste indicador podría estar arrojando un valor nulo, o dicho con otras palabras, indicando como si no estuviera detectando respiración del bebé, es por ello que es importante la detección del cuerpo dentro del área de estudio y en tal caso descartar la información sensoreada.

II-E. Movimientos

Uno de los objetivos principales del proyecto es el de monitorear el movimiento del bebé cuando está recostado sobre su cuna o el lugar indicado para conciliar el sueño. El objetivo recide en analizar si el movimiento es alto a tal punto de considerar si es conveniente realizar un análisis exhaustivo del sueño referido al movimiento, siendo éste un indicador a modo informativo para comportamientos. El movimiento puede detectarse de forma activa o pasiva. Cuando un sensor emite algún tipo de energía se trata de una detección activa, mientras que cuando el sensor no emite ningún tipo de energía, se trata de una detección pasiva.

III. HARDWARE

La presente sección tiene como objetivo principal mencionar cuáles son los ítem principales y fundamentales que entran en funcionamiento para la resolución de la problemática. Los distintos módulos corresponden a una serie de herramientas y posteriores desarrollos que harán al funcionamiento del sistema en su totalidad y visualización hacia el usuario final. Los ítems tratados van desde la plaqueta Arduino, sensores, conectividades, hasta incluso el software de aplicación móvil.

III-A. Esquema general

El marco general del sistema a implementar está comprendido por un hardware constituido por una plaqueta Arduino y sus sensores correspondientes para tomar los indicadores necesarios conectados a la plaqueta Arduino principal para

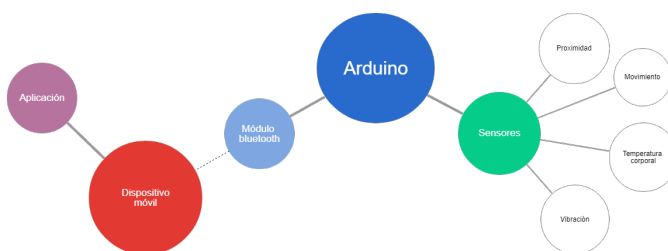


Figura 1. Esquema general

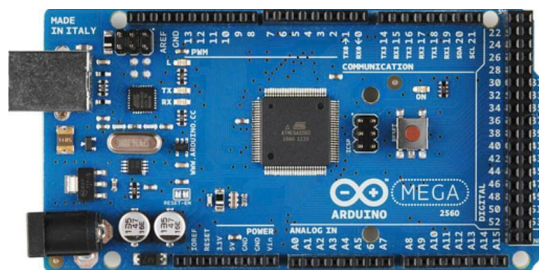


Figura 2. Arduino MEGA 2560

procesar toda la información, y una aplicación móvil, instalada en un dispositivo como un teléfono celular o tablet, en donde se visualiza la información recolectada y arrojar alertas si corresponde. La conectividad entre la plaqueta Arduino y la aplicación móvil se realiza mediante un módulo Bluetooth, la comunicación se realiza punto a punto con envío y recepción de un buffer de datos que será interpretado según corresponda. En la **Figura 1** se puede observar un diagrama del esquema anteriormente mencionado y todos sus módulos incorporados.

III-B. Arduino

Gracias al avance tecnológico, hoy en día podemos contar con dispositivos pre-diseñados que nos ayudan en los desarrollos ahorrando mucho tiempo y costos. Es el caso de Arduino [9] que desarrolló una plaqueta que cumple la función de un micro-controlador programable. Como se puede apreciar en la **Figura 2**, se estará utilizando la versión Mega 2560 de Arduino, en donde los distintos módulos requeridos serán conectados a través de sus pines de entrada y salida (analógico y/o digital) que se pueden observar.

III-C. Sensores

III-C1. Módulo sensor de proximidad (IR FC-51): El sensor representado en la **Figura 3** detecta interposición de algún objeto entre una distancia pre-configurada y el mismo (sin contacto, entre una distancia de 2 cm a 30 cm, y con un ángulo de detección de 35°) [10]. La utilidad de éste sensor se verá reflejada ante la necesidad de detectar si el bebé se encuentra dentro del área de estudio de donde se obtendrían los datos de los otros sensores incorporados, o si el sistema debiera descartar los datos obtenidos o mismo desactivar los sensores ante la ausencia del bebé en el área e informar hacia la aplicación móvil. El sensor funciona mediante la transmisión de ondas o impulsos infrarrojos los cuales son transmitidos



Figura 3. Módulo de proximidad infrarrojo IR FC-51 para Arduino

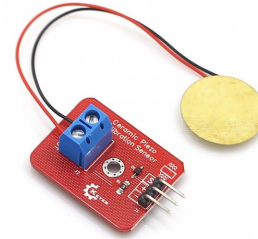


Figura 5. Módulo sensor de vibración AA2758 para Arduino

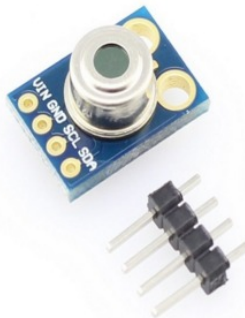


Figura 4. Módulo de temperatura direccional MLX90614 para Arduino



Figura 6. Módulo sensor de movimiento HC-SR501 para Arduino

hacia la dirección aproximada donde se dirige el mismo, y recepciona las ondas que rebotan en determinados objetos en caso de haberlos, es decir que trabaja sobre la reflexión de luz infrarroja. El presente módulo cuenta con un potenciómetro el cual regula la sensibilidad de las detecciones, pudiéndose traducirse como sensibilidad de distancia de objetos.

III-C2. Módulo sensor de temperatura direccional (MLX90614): Es un sensor de temperatura direccional sin contacto y con incidencia hacia un cierto rango de distancia entre el objeto observado y el sensor mismo [11]. Una imagen del sensor mencionado se puede observar en la **Figura 4** y será el encargado de obtener la temperatura corporal del lactante al direccionarse hacia donde se presupone va a estar posicionada la cabeza del bebé, de forma tal que el indicador obtenido por dicho sensor sea lo más certero posible.

III-C3. Módulo sensor de vibración (AA2758): Sensor analógico que se basa en un mecanismo de cerámica entre placas metálicas, comunmente denominado piezoeléctrico, el cual reacciona ante vibraciones generando señales eléctricas que son obtenidas y enviadas a la placa Arduino para su posterior manipulación o interpretación. El objetivo de éste sensor es el de obtener movimientos y vibraciones que sean localizados por debajo del bebé a través de una red de piezoeléctricos. Con la sensibilidad adecuada y la interpretación de los datos obtenidos se puede realizar un control sobre la respiración del bebé ante la variación de presión por el movimiento torácico que ésto implica. En la **Figura 5** se observa el módulo correspondiente y el piezoeléctrico conectado al mismo.

III-C4. Módulo sensor de movimiento (HC-SR501): Módulo el cual integra un sensor PIR (Passive Infrared), generalmente utilizado para sistemas de alarma en la detección de movimiento [12]. La principal función de éste módulo radica en medir la cantidad de movimiento durante el sueño del lactante y detectar cuales son los horarios en que podría despertarse durante la noche. Además indicaría cuáles son aquellos ciclos en donde el bebé pudo haberse movido de alguna manera ocasionando una modificación en la postura en la que fue colocado y pudiendo obstruir las vías respiratorias. En la **Figura 6** se puede observar el módulo sensor de detección de movimiento.

III-D. Módulo de comunicación (HC-06)

Es otro de los módulos más importantes que tiene el sistema ya que es el encargado de comunicarse inalámbricamente con el dispositivo móvil, cuya aplicación está instalada, y así transmitir datos, visualizar indicadores y alertar ante cualquier incidente que pudiese ocurrir que ponga en riesgo la vida del bebé. El módulo mencionado realiza una conexión punto a punto entre la plaqueta Arduino que recolecta toda la información y el dispositivo móvil (teléfono celular o tablet) que tiene la aplicación. Es importante destacar que éste módulo trabaja con una tecnología de bluetooth tradicional y no BLE, con lo que representa una incompatibilidad con los dispositivos de Apple. En la **Figura 7** se puede observar el módulo de comunicación bluetooth mencionado.



Figura 7. Módulo de comunicación bluetooth HC-06

III-E. Aplicación móvil

El uso de los dispositivos móviles es algo que ya forma parte de nuestra cultura diaria, y es por ello que el proyecto presentado tiene relación a la conectividad móvil, ya que es posible hacer llegar la información leída por los sensores a dispositivos móviles, permitiendo estar en contacto permanente con el estado de las diferentes variables ambientales que rodean y afectan al bebé, pudiendo inferir en el bienestar del mismo. Las alertas o notificaciones emitidas por la aplicación son producto de parámetros que varían a través del tiempo, identificando los cambios abruptos de los mismos indicando algún cambio de estado.

En este proyecto la aplicación móvil estará desarrollada tanto para la plataforma Android como iOS, pero cabe destacar que la compatibilidad del hardware de las plataformas mencionadas y el módulo de conectividad Bluetooth utilizada solamente es viable con dispositivos Android, ya que los dispositivos iOS utilizan otro tipo de tecnología conocida como BLE (Bluetooth Low Energy). El desarrollo del aplicativo estará basado sobre Ionic, el cual es un framework diseñado para el desarrollo de aplicaciones móviles híbridas, el cual se basa en Angular, Typescript, Javascript, CSS3 y HTML5. El concepto principal se basa en la traducción gráfica de todos los componentes visualizados en cada dispositivo móvil dependiendo la plataforma en la cual se encuentre, ya sea para Android o para iOS, cada componente utilizado tiene su representación gráfica acorde a la plataforma. Uno de los principales pilares que tiene Ionic es el de incorporar las librerías de Apache Cordova, la cual contiene toda la lógica, o motor principal, para traducir el código desarrollado independiente por cada plataforma. Es decir, Cordova contiene los desarrollos individuales, algunos desarrollados oficialmente y otros por grupos de desarrolladores de la comunidad que hacen su aporte, de los plugins que hacen a la funcionalidad de cada módulo del sistema operativo en cuestión. En la **Figura 8** se puede observar cómo interactúan los distintos componentes que hacen al desarrollo de la plataforma final distribuida para cada sistema operativo.

En lo que respecta al desarrollo híbrido, el aplicativo final para cada plataforma, se traduce como un navegador web incorporado el cual es visualizado por el usuario final. Es por ello que el desarrollo principal está hecho sobre plataformas web. En la **Figura 9** se observa el componente Web-

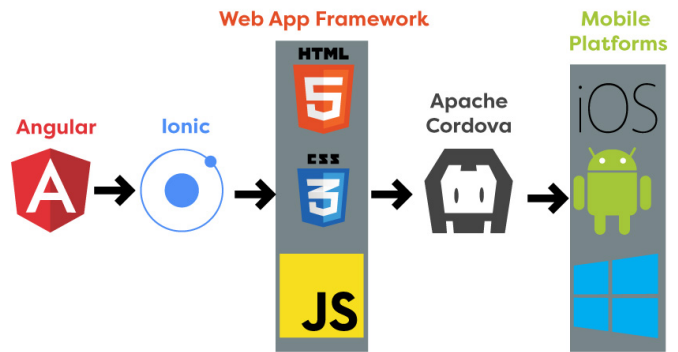


Figura 8. Esquema de arquitecturas Ionic - Angular - Cordova

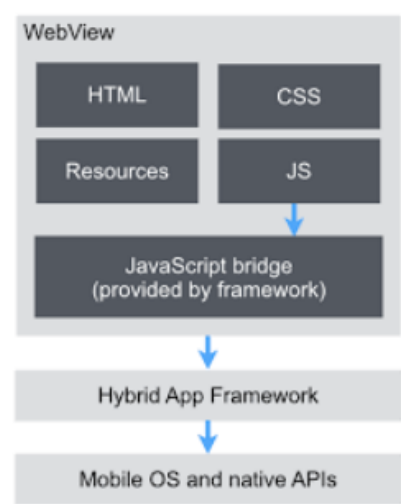


Figura 9. Componentes internos Cordova

View que interpreta los recursos incorporados y los lenguajes HTML, CSS y Javascript, dicho componente es el que simula un navegador web dentro del aplicativo final.

IV. DESARROLLO

En esta sección se estará comentando cuáles fueron los lineamientos principales para el desarrollo contemplando códigos y frameworks utilizados para hacer a la solución en su plenitud. Se mostrarán imágenes de las mediciones obtenidas por cada sensor a través del software Telemetry Viewer mencionado, la aplicación final con los indicadores y alertas deseadas, y cómo fue el desarrollo o traspaso de información entre la plataforma hardware y el software para llegar hacia el usuario final.

El dispositivo que realizará la función de monitoreo al lactante se concentra en un hardware que no es invasivo para el mismo. Los sistemas de medición que se aplican, es decir, los diferentes sensores que toman datos del lactante, no deben tener contacto directo con el mismo. De esta forma la forma y estructura de funcionamiento será lo más normal y natural cotidiano que se encuentra día tras día en los hogares. En la investigación previa a la realización del presente documento se han encontrado diferentes sistemas ya creados a nivel mundial, los cuales algunos de ellos requieren algún tipo de contacto

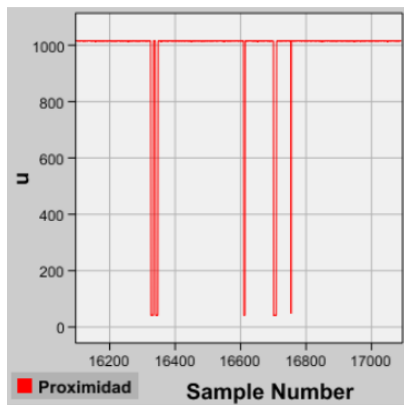


Figura 10. Datos del sensor de proximidad

exclusivo con la piel del bebé, como por ejemplo en aquellos dispositivos que son incorporados en la vestimenta, obligando a los padres y/o tutores a tomar ciertas medidas previas a la colocación del bebé en la cuna las cuales se pueden llegar a tornar medias tediosas o directamente ser rechazadas por los responsables al ser un tanto invasivas. También en la investigación se han encontrado algunos dispositivos los cuales no tienen contacto directo con el lactante, los cuales fueron tomados de ejemplo y estudio para generar el dispositivo actual con distintos valores agregados.

IV-A. Metodología y mediciones

Para capturar los valores recibidos por los distintos sensores incorporados se utilizó una herramienta gráfica en vivo llamada Telemetry Viewer [13] la cual se basa en los valores arrojados por la placa arduino a través del serial. Cada valor enviado por el Arduino es separado por comas, y luego cada uno de ellos conociendo el orden visualizado será tomado por Telemetry Viewer adaptado a la visualización deseada. A continuación se realiza una demostración de los valores arrojados por los sensores que toman los datos del ambiente, exceptuando el módulo de comunicación Bluetooth:

IV-A1. Módulo sensor de proximidad: En la **Figura 10** se observa el gráfico arrojado por los valores obtenidos por el sensor. A través de una línea de tiempo se visualiza un salto inmediato hacia un valor constante de acuerdo a la detección del sensor, es decir que aquellos saltos son marcados cuando el sensor detecta un objeto dentro del área de inspección, caso contrario vuelve a su estado de reposo inmediatamente.

IV-A2. Módulo sensor de temperatura direccional: En la **Figura 11** se expresa en un gráfico del tipo acelerómetro el indicador correspondiente a la temperatura. El indicador aumenta o disminuye dinámicamente lo que corresponde a la lectura de la temperatura corporal del bebé adquirida. El valor arrojado está expresado en grados centígrados.

IV-A3. Módulo sensor de vibración: En la **Figura 12** se puede observar el gráfico del sensor de vibración en la cual se ve como reacciona la variación de valores desde su estado de reposo según movimientos o vibraciones detectadas. Los datos arrojados y visualizados en el gráfico representa un indicador de voltaje en la placa cerámica del piezoeléctrico el cual varía a través del tiempo según vibraciones detectadas.

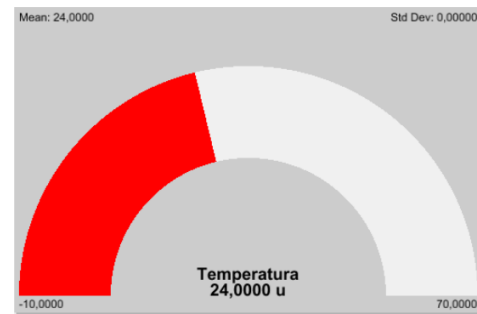


Figura 11. Datos del sensor de temperatura

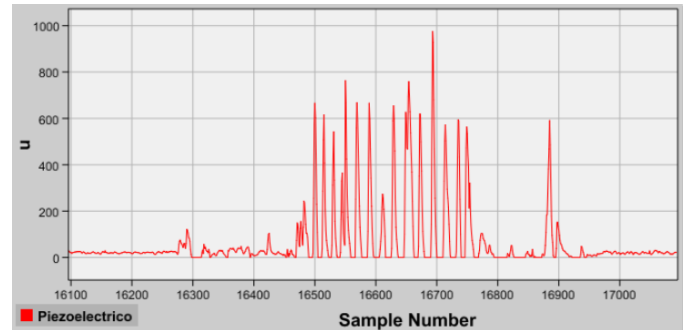


Figura 12. Datos del sensor de vibración

IV-A4. Módulo sensor de movimiento: Similar al sensor de proximidad anteriormente mencionado, al detectar una variación de radiación en los distintos campos o espectros del sensor, se produce un salto desde su estado de reposo hacia un valor constante de forma inmediata. La diferencia que reside en este sensor es que a través de la línea de tiempo en la cual transcurren los saltos de valores, los mismos se mantienen en un corto lapso de tiempo para volver a recalibrar el estado de reposo del mismo. Se puede observar en la **Figura 13** el indicador mencionado y sus valores.

IV-B. Extracto de código Arduino

Para el desarrollo del software que impacta en la placa Arduino, se conectaron los distintos sensores a sus pines característicos analógicos o digitales según corresponda por cada uno de ellos, y luego desde el IDE distribuido oficialmente por Arduino se confecciona la lectura de cada uno de esos pines. El

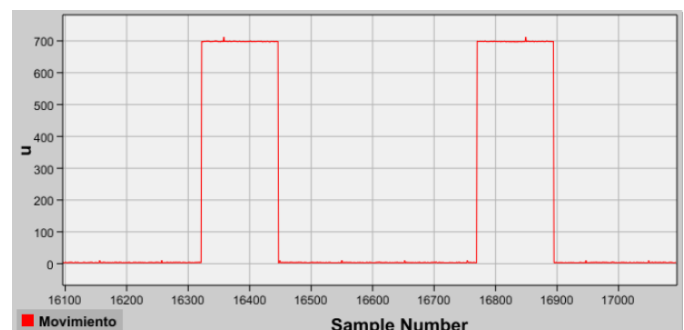


Figura 13. Datos del sensor de movimiento

```
// Loop function to repeat
void loop() {

    // Get temperature & humidity values from sensor
    intTemperature = dht.readTemperature();

    // Get movement sensor data
    intMovement = analogRead(PinSensorMovement);

    // Get piezo sensor data
    intPiezo = analogRead(PinSensorPiezo);

    // Get proximity sensor data
    intProximity = analogRead(PinSensorProximity);
}
```

```
// ALERTS
if(this.alertaDisparada == false && this.notificationsEnabled==true) {
  // If temperature exceeded parameters
  if(this.temperatureEnabled == true && (parseInt(this.indicators.temperature)>this.presetTemperature.lower
    localStorage.setItem("alertaDisparada","true");
    this.alertaDisparada = true;
    this.alertaTemperatureDisparada = true;

    this.smartAudio.play('siren');
    alert("Alerta de temperatura!");
    //this.fireAlarm("temperatureAlarm");
  }
}
```

Figura 18. Código ejemplo para disparar alertas



Figura 19. Pantalla de bienvenida

IV-D. Visualización y alertas

Lo que corresponde a la visualización por parte de Ionic y HTML anteriormente mencionadas, se puede obtener la siguiente pantalla de la **Figura 19** como bienvenida. La misma se encarga de notificar al usuario sobre el encendido del dispositivo hardware y el emparejamiento del mismo con el dispositivo bluetooth del celular.

La aplicación cuenta con el siguiente menú principal ilustrado en la **Figura 20**, el cual permite navegar por las distintas pantallas de la aplicación. Contiene una parte principal de detección de mediciones y otra parte de configuración.

Seguidamente, se puede observar en la **Figura 21** la pantalla en la cual se visualizan en tiempo real todos los indicadores y alarmas que pudieran llegar a generarse. Aparecen los valores por cada sensor o indicadores en rojo y verde según detección de movimientos y vibraciones.

La parametrización de los valores resulta importante para la detección de las alertas a ser enviadas al usuario. La aplicación permite la parametrización a gusto según el criterio de cada usuario permitiendo distintos niveles de sensibilidad a la hora de aplicar el algoritmo que dispare la alarma en cuestión. En la **Figura 22** se puede observar la pantalla correspondiente a la activación o desactivación de las alertas, como así también la configuración de los valores mínimos y máximos requeridos por el usuario que están contemplados dentro de los valores normales. En caso de que los valores indicadores captados por los sensores estén por fuera de esos valores mínimos y



Figura 20. Pantalla del menú principal



Figura 21. Pantalla principal de mediciones

máximos, inmediatamente se disparará una alerta sonora y visual según del sensor que se tratase.

V. CONCLUSIÓN

El dispositivo final aprovecha la tecnología comercialmente accesible de hoy en día para tomar datos sensoriales del bebé y obtener datos que resultan útiles para las personas a cargo del cuidado de los pequeños. Si bien el avance de la tecnología hará que se lancen nuevos sensores al mercado, la modularización del sistema nos da gran libertad para reemplazarlos y probar nuevas versiones. La elección de Arduino Mega para el prototipo nos da esta flexibilidad, aunque la posibilidad de utilizar otro tipo de placa madre, como por ejemplo una Raspberry pi, para incorporar esos nuevos sensores queda

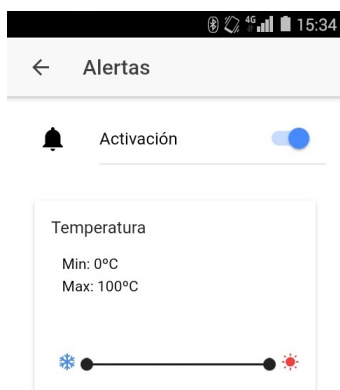


Figura 22. Pantalla de parametrización de alertas

abierta al cambio. Una vez lograda la comunicación entre Arduino y la aplicación móvil, se pudieron procesar los datos para identificar posibles situaciones de riesgo y emitir alertas acordes a ellas, de forma tal que dar una alerta temprana sobre una situación crítica podría salvar la vida del bebé. El análisis realizado sobre los datos es directo, aunque es posible la integración futura sobre el campo de inteligencia artificial para tomar decisiones en base al aprendizaje de los datos obtenidos por los sensores, ya sea aplicado para emitir notificaciones futuras en base a predicciones u otras aplicaciones.

V-A. Mejoras

Una de las mejores adaptaciones que pueden integrarse al presente dispositivo corresponde a la adaptación hacia una incubadora, de forma tal que mediante una serie de dispositivos aplicados en sectores de la salud pública y privada, se podría monitorizar a un grupo de bebés que estén en los hospitales o clínicas y ayuden al control de ellos. A su vez lo que respecta a la conectividad inalámbrica, se podría migrar hacia una conectividad mediante módulos wifi para lograr el monitoreo remoto sin necesidad de estar cerca y con información disponible en la nube. Otro punto que se podrá tomar como mejora es la incorporación de otros tipos de sensores como ser de sonido, estimar los latidos como la referencia [15] o [16], monóxido de carbono similar a la cita [17], humedad, etc que podrían analizar el ambiente en el cual se encuentra para evitar otro tipo de situaciones críticas.

V-B. Lecciones aprendidas para trabajos futuros

La existencia de distintos módulos de comunicación en lo que respecta al esquema de Arduino, hace que existan distintas compatibilidades desde excluyentes entre ellos, es decir que si se quisiera implementar un único dispositivo con varios módulos de comunicación como ser bluetooth y wifi paralelamente, es necesario realizar una selección consciente

sobre los mismos ya que ante una implementación puede que no sean compatibles bajo el mismo software incorporado en el Arduino. Los módulos bluetooth también presentan una serie de compatibilidad para lo que respecta a la tecnología llamada como BLE (bluetooth low energy) la cual se están incorporando a los nuevos dispositivos móviles, pero la tecnología aplicada en el proyecto actual utiliza un protocolo anterior al BLE, por lo que no sería compatible con los nuevos celulares del mercado y a futuro.

REFERENCIAS

- [1] F. E. García García, "Síndrome de muerte súbita del lactante," *Revista Cubana de Pediatría*, vol. 80, no. 2, pp. 0-0, 2008.
- [2] H.-N. Teodorescu and D. J. Mlynek, "Respiration and movement monitoring system," Jan. 4 2000, uS Patent 6,011,477.
- [3] N. Hafner, I. Mostafanezhad, V. M. Lubecke, O. Boric-Lubecke, and A. Host-Madsen, "Non-contact cardiopulmonary sensing with a baby monitor," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2007, pp. 2300-2302.
- [4] S. Brady, L. E. Dunne, R. Tynan, D. Diamond, B. Smyth, and G. M. O'Hare, "Garment-based monitoring of respiration rate using a foam pressure sensor," in *Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on*. IEEE, 2005, pp. 214-215.
- [5] T. K. Lee and M. S. Han, "Baby monitoring system," Jan. 10 2012, uS Patent 8,094,013.
- [6] G. D. T. E. M. SUBITA, "Nuevas recomendaciones para la disminución del riesgo del síndrome de muerte súbita del lactante," *Arch. argent. pediatr.*, vol. 98, no. 4, p. 239, 2000.
- [7] B. Aguilera and M. Suarez-Mier, "La importancia de la investigación del lugar de la muerte y de la entrevista familiar en casos de muerte súbita e inesperada del lactante," *Cuadernos de Medicina Forense*, no. 30, pp. 33-38, 2002.
- [8] R. Broussard and J. Broussard, "Baby blanket with baby monitoring system," Apr. 23 2002, uS Patent 6,377,177.
- [9] Arduino, "Arduino," <https://www.arduino.cc/>, 2018, [Online; accessed 21-May-2018].
- [10] W. Robótica, "Sensor de proximidad IR FC-51," <http://www.web-robotica.com/>, 2018, [Online; accessed 21-May-2018].
- [11] Sparkfun, "Sensor de temperatura direccional MLX90614," <https://learn.sparkfun.com/>, 2018, [Online; accessed 21-May-2018].
- [12] E. práctica aplicada, "Sensor de movimiento HC-SR501," <https://www.diarioelectronicohoy.com/>, 2018, [Online; accessed 21-May-2018].
- [13] F. F., "Telemetry Viewer," <http://www.farrellf.com/>, 2017, [Online; accessed 21-July-2017].
- [14] Arduino, "Language reference IDE Arduino," <https://www.arduino.cc/reference/en/>, 2018, [Online; accessed 21-May-2018].
- [15] C.-F. Lindberg and B. Carlsson, "Estimation of the respiration rate and oxygen transfer function utilizing a slow do sensor," *Water Science and Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 325-333, 1996.
- [16] M. Scanlon, "Sudden infant death syndrome (sids) monitor and stimulator," May 14 1996, uS Patent 5,515,865.
- [17] A. Esquíroz Olcoz, "Diseño, fabricación y caracterización de un sistema de detección de monóxido de carbono en la respiración humana," 2017.