

Tesis defendida por
Efraín Rincón Sarmiento
y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Director del Comité

Dr. José Antonio García Macías
Miembro del Comité

Dr. Miguel Ángel Alonso Arévalo
Miembro del Comité

Dr. José Antonio García Macías
Coordinador Programa de
Posgrado en Ciencias de la Computación

Dr. Jesús Favela Vara
Director de Estudios de Posgrado

Noviembre 2013

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.**



Programa de Posgrado en Ciencias
en Ciencias de la Computación

Herramientas de captura y acceso para el análisis selectivo del llanto infantil

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Efraín Rincón Sarmiento

Ensenada, Baja California, México
2013

Resumen de la tesis de Efraín Rincón Sarmiento, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

Herramientas de captura y acceso para el análisis selectivo del llanto infantil

Resumen aprobado por:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa

Entender el lenguaje de un recién nacido no es una tarea fácil, por tal motivo los padres de familia usan monitores para bebés, estos les ayudan a monitorizar el lenguaje e inferir las necesidades de los mismos. Los monitores para bebés disponibles tratan de identificar el lenguaje de los bebés considerando la información después de que el bebé está llorando. De acuerdo con los pediatras, los sonidos y movimientos antes del llanto definen qué es lo que el bebé quiere. En esta tesis, exploramos el archivado selectivo automático de movimientos y sonidos que el infante realiza antes del llanto para dar a los padres de familia información que después pueden usar para asociar estos comportamientos y determinar qué es lo que el infante quiere. Siguiendo la metodología de diseño centrado en el usuario, hemos desarrollado una herramienta de captura y acceso que usa un acelerómetro para detectar cuando el infante se está moviendo, y un algoritmo para detectar cuando el infante está llorando. El algoritmo de detección de movimiento utiliza un sensor de movimiento (Shimmer) y computa la magnitud ejercida sobre los tres ejes. El algoritmo de detección de llanto usa una firma de entropía espectral multi-banda (MBSES) y una máquina de soporte vectorial (MVS) para detectar el llanto sostenido. Para mostrar la factibilidad del desempeño de nuestro sistema bajo condiciones realistas, hemos probado el desempeño de nuestro algoritmo de sonido bajo escenarios con ruido. El resultado muestra que el algoritmo es exacto en un 98% de precisión y es mejor que los algoritmos que usan características del MFCC. Cerramos con una discusión para trabajos futuros.

Palabras clave: Archivado selectivo, herramientas de captura y acceso, detección de llanto

Abstract of the thesis presented by Efraín Rincón Sarmiento as a partial requirement to obtain the Master in Science degree in Computer Science.

A context-aware baby monitor for the automatic selective archiving of the language of infants

Abstract approved by:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa

Understanding the language of a newborn is not an easy task, and parents use baby monitors to monitor the language of their baby and infer the baby's needs. Available baby monitors trying to identify the language of babies consider the information after the baby is crying, and according to pediatricians the sounds and movements before crying define what the baby wants. In this dissertation, we explore the automatic selective archiving of the movements and sounds infants make before crying to give parents information they could later use to reflect on these behaviors and determine what the infant wants. Following a user-centered design methodology we developed a capture and access tool that uses accelerometers to detect when the infant is moving, and an algorithm to detect when the infant is crying. The movement detection algorithm uses a motion Shimmer sensor and computes the magnitude exerted over the three axes, and the cry detection algorithm uses a Multi-Band Spectral Entropy Signature (MBSSES) and a Support Vector Machine (SVM) to detect sustained crying. To show the feasibility of the performance of our system under realistic conditions, we tested how our sound algorithm performs under noise scenarios. The results show our algorithm is accurate, 98% precision, and performs better than algorithms using the MFCC feature. We close discussing directions for future work.

Keywords: selective archiving, capture and access tools, cry detection

A mis padres:
José de la Luz Rincón y Rosalina Sarmiento
por su incondicional apoyo cabalmente sostenido a través del tiempo
y que gracias a ellos soy todo lo que soy.

Agradecimientos

A Dios,
por permitirme vivir esta experiencia, por estar conmigo todos los días, por dejarme sentir y tocar uno de mis sueños tantas veces soñados.

A Tony, Silvia, Emma, y César
por estar ahí para apoyarme cada vez que los necesito.

A Mi más bella flor Nena,
por su amor incondicional, que por su admirable comprensión, paciencia, y apoyo supo que a pesar del tiempo y la distancia, nos volveríamos a encontrar.

A la Dra. Mónica,
por darme la oportunidad de colaborar en su proyecto, por enseñarme y guiarme a través de mi desarrollo académico.

Al Dr. Antonio, y al Dr. Alonso,
por sus aportaciones, comentarios y consejos.

A Lorenzo, y Fátima,
por soportar mis momentos de angustia y darme su apoyo incondicional.

A Paul, Rodrigo, Oswaldo, y Ubaldo,
que me brindaron su apoyo y amistad.

A todos mis familiares y amigos,
que de alguna manera se empeñaron en no dejarme caer y de empujarme a seguir.

A mis compañeros y catedráticos,
de los cuales aprendí mucho.

Al CICESE por darme la oportunidad de pertenecer a su institución y a CONACyT por otorgarme la beca para la realización de esta investigación.

¡Gracias totales!

Contenido	Página
Resumen en español.....	i
Resumen en inglés.....	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.2.1 Herramientas de captura y acceso.....	3
1.2.2 Potenciando la captura selectiva de información con reconocimiento de contexto.	6
1.3 Planteamiento del problema.....	7
1.4 Preguntas de investigación.....	9
1.5 Objetivo general y específicos.....	10
1.6 Importancia de la investigación, contribución al conocimiento y limitaciones.....	10
1.7 Metodología de la investigación y cronograma de actividades.....	11
1.7.1 Estudio contextual y sesiones participativas de diseño.....	11
1.7.2 Diseño y desarrollo del sistema.....	12
1.7.3 Evaluación en sitio y análisis de datos.....	12
Capítulo 2. Marco teórico	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Metodología.....	14
2.3 Vocabulario del infante y llanto infantil.....	15
2.4 Reconocimiento de patrones para analizar el llanto infantil.....	17
2.4.1 Llanto anormal.....	18
2.4.2 Llanto normal.....	19
2.5 Herramientas de captura y acceso a la información (C&A).....	19
2.5.1 Herramientas de C&A en el lugar de trabajo.....	19
2.5.2 Herramientas de C&A de propósitos educativos.....	20
2.5.3 Herramientas de C&A tolos para la captura continua de información personal y del tiempo de vida.....	22
2.6 Conclusiones.....	25
Capítulo 3. Entendimiento inicial	27
3.1 Introducción.....	27
3.2 Metodología de la investigación.....	27
3.2.1 Reclutamiento y consentimiento.....	28
3.2.2 Recolección de datos: Entrevistas.....	28
3.2.3 Análisis de datos.....	29
3.3 Resultados del análisis de datos.....	31
3.3.1 Proceso de identificación de necesidades del infante.....	31
3.4 Escenarios de estrategias actuales.....	40

3.5 Problemas y estrategias.....	41
3.5.1 Falta de registro de información estándar.....	42
3.5.2 Falta de alertas al entrar en una zona insegura	42
3.5.3 Problemas en la identificación de necesidades	43
3.5.4 Falta de historial del comportamiento del infante	43
3.6 Conclusiones y resumen	44
Capítulo 4. Diseño e implementación.....	47
4.1 Introducción.....	47
4.2 Métodos de diseño	47
4.3 Requerimientos y principios de diseño.....	47
4.3.1 Proporcionar registros de información relevante.....	48
4.3.2 Proporcionar alertas al entrar en una zona insegura	49
4.3.3 Ayudar en la identificación de necesidades.....	49
4.3.4 Proporcionar un historial de actividades relevantes	50
4.4 Diseño del sistema	51
4.5 Escenario de uso	54
4.6 Implementación del sistema 4Care Monitor.....	55
4.6.1 Arquitectura general	55
4.6.2 Nodo acelerómetro.....	55
4.6.3 Nodo tableta.....	56
4.6.4 Detector de llanto.....	62
4.7 Conclusiones.....	63
Capítulo 5. Evaluación del sistema 4Care Monitor	64
5.1 Introducción.....	64
5.2 Métodos de evaluación	64
5.2.1 Preparación de la evaluación	64
5.3 Evaluación de desempeño en laboratorio.	66
5.4 Resultados de la evaluación de desempeño en laboratorio.....	67
5.5 Estudio en sitio.....	69
5.5.1 Reclutamiento y consentimiento.....	69
5.5.2 Entrenamiento del sistema 4Care Monitor y la calibración de la escala del sensor de movimiento	70
5.5.3 Recolección de datos, entrevistas y cuestionario de salida.....	72
5.6 Análisis de datos	73
5.6.1 Uso y adopción	73
5.6.2 Capacidad del archivado selectivo.....	75
5.6.3 Espacio de almacenamiento utilizando el <i>algoritmo “archivado selectivo”</i>	77
5.6.4 Consumo de batería de la tableta y del sensor	78
5.6.5 Facilidad de uso	79
5.6.6 Utilidad	79
5.6.7 Visualizaciones	80
5.7 Conclusiones.....	80
Capítulo 6. Conclusiones y aportaciones.....	82
6.1 Trabajo futuro	87
Referencias bibliográficas.....	89

Apéndice 1	97
Apéndice 2	99

Lista de figuras

Figura	Página
Figura 1. Captura selectiva.	5
Figura 2. Uso del hotspot ButterflyNet, un usuario A) captura/busca una foto, luego B) dibuja el gesto del hotspot en una libreta. C) una cámara inteligente provee en tiempo real retroalimentación de manera visual o en audio. D) ButterflyNet interpreta la foto asociada en pantalla con notas digitales.	22
Figura 3. Interfaz móvil de Estrellita: (izquierda) el tablero de instrumentos, (centro) la información para la captura de usos del pañal, y (derecha) el widget para el teléfono de la pantalla de la casa.	23
Figura 4. Actividades realizadas en la metodología de investigación. La actividad de análisis de datos son las sesiones de interpretación de datos, y la actividad de identificación de problemas y estrategias son las sesiones de diseño participativo.	28
Figura 5. Sesión de diseño participativo.	29
Figura 6. Diagrama de afinidad. Resultados de las categorías durante una sesión de interpretación (izq.) Resultados de la agrupación de las categorías en el diagrama de afinidad final (der)	30
Figura 7. Resultados del diagrama de afinidad.	31
Figura 8. Pantalla monitor, donde se monitorea el movimiento y el sonido del infante.	51
Figura 9. Funcionamiento de la pantalla Monitor.	52
Figura 10. Pantalla Notas.	53
Figura 11. Pantalla Historial.	53
Figura 12. Pantalla Configuración.	54
Figura 13. Arquitectura general del sistema <i>4Care Monitor</i>	55
Figura 14. Sensor Shimmer.	55
Figura 15. Coordenadas de los ejes x, y, z del sensor Shimmer.	57
Figura 16. Pseudocódigo para remover la fuerza de gravedad de una muestra del sensor. Fuente: ("Android Developer: Sensor Event," 2013, p.1).	58
Figura 17. Algoritmo para el archivado selectivo.	62
Figura 18. Etapas del proceso de evaluación.	64
Figura 19. Diagrama que indica el tiempo que nos llevo la realización de las actividades de la preparación del estudio.	65
Figura 20. Saco que permite ajustarse al tamaño de las manos y pies del bebé.	71
Figura 21. Aplicación que captura las muestras del sensor Shimmer para la calibración del nivel de movimiento que realiza el infante.	72
Figura 22. Eventos etiquetados y tendencia de uso por día.	74
Figura 23. Cantidad de tiempo previo al llanto que el archivado selectivo toma como relevante.	76
Figura 24. Gráfica de movimiento que muestra un evento registrado como hambre.	77
Figura 25. Comparación utilizando el archivado selectivo contra no utilizar el archivado selectivo.	78
Figura 26. Promedio del consumo de la batería por día.	78

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Cronograma de actividades.....	13
Tabla 2 Resumen de las herramientas de C&A.	26
Tabla 3. Datos demográficos de los participantes entrevistados.	29
Tabla 4. Resumen de las prácticas de los informantes.	45
Tabla 5. Diferencias entre la escala utilizada por <i>4Care Monitor</i> y la utilizada por Trost..	60
Tabla 6. Escala de la relación entre el porcentaje de la intensidad de sonido capturado y el nivel correspondiente.	61
Tabla 7. Resultados de desempeño.	67
Tabla 8. Características de los participantes. Izquierda: Características del participante. Derecha: Características del infante.	70
Tabla 9. Relación de eventos etiquetados.....	75

Capítulo 1. Introducción

1.1 Contexto

De acuerdo a las estimaciones realizadas por el Consejo Nacional de Población CONAPO, en los Estados Unidos Mexicanos la tasa bruta de natalidad es de 17.28 por cada mil habitantes para el año 2012; en Baja California¹ es de 16.78 (CONAPO, 2012). En este sentido, existirá la responsabilidad de que a cada neonato se le brinde cuidados y servicios especiales para que pueda desarrollarse íntegramente.

Por otro lado, los padres de familia demandan un proceso de adaptación en su vida cotidiana, ya que su atención se dirige en atender los cuidados y las necesidades del bebé (*e.g.*, alimentación, vivienda, recreo, amor, comprensión), además de proporcionarle servicios especiales que requiera (*e.g.*, seguridad social, servicios médicos adecuados, educación). Estas actividades requieren de tiempo, dinero, y esfuerzo, por lo que los padres de familia pueden llegar a sentir un exceso de trabajo que puede generar estrés.

Una de las mayores complicaciones que tienen los padres de familia, es entender el comportamiento y las necesidades que presenta el bebé (*i.e.*, lenguaje del bebé), ante una situación particular y principalmente en edades tempranas (*e.g.*, 0-12 meses de edad), para poder descifrar dicho lenguaje es útil analizar el comportamiento que presenta el bebé.

Estudios asociados a entender las necesidades y el comportamiento de infantes resaltan qué dada la falta de madurez física y mental del infante para comunicarse con sus padres, tiende a llorar para expresar alguna necesidad (*e.g.*, hambre, sed), incomodidad (*e.g.*, falta de sueño) o desagrado (*e.g.*, ruido, exceso de calor), y otras veces realiza movimientos o gestos (*e.g.*, aleteo de brazos).

¹ El número de neonatos es de 57 mil, que equivalen al 1.67 % de la población

Entonces, el estudio del comportamiento infantil ha motivado a diferentes investigadores a estudiar como el llanto ayuda a los padres de familia o cuidadores (*e.g.*, abuelas, tías, etc.) a entender las necesidades del infante (*e.g.*, identidad del infante (Messoud & Tadj, 2010), daño cerebral (Boukydis & Lester, 1985), labio hendido (Lederman, Zmora, Hauschildt, Stellzig-Eisenhauer, & Wermke, 2008), y el síndrome infantil de muerte repentina (Colton & Steinschneider, 1981)).

Recientemente, Dunstan (Dunstan, 2008) propuso un método que sugiere analizar los patrones de sonidos que el infante realiza antes del llanto para asociarlos con una palabra (*e.g.*, un infante realiza dos sonidos fuertes cuando tienen hambre). Este método en contraste a los estudios anteriores, resalta que los padres de familia pueden determinar las necesidades del infante por medio de sonidos previos al llanto. Sin embargo, pocos trabajos de investigación han estudiado estos sonidos, ni como los padres pueden utilizarlos para anticipar las necesidades del infante antes del llanto. El anticipar estas necesidades puede reducir el estrés de los padres al cuidar al infante, y potenciar la comunicación que los padres empiezan a entablar con su hijo.

En esta tesis, se propone entender los patrones de sonidos previos al llanto infantil y las variables contextuales asociadas al llanto para inferir el lenguaje de los infantes, con el fin de prevenir el llanto. Para ello, se propone desarrollar un sistema de captura y acceso, que permita a los padres de familia, la captura selectiva en tiempo real de los sonidos previos al llanto, y asociar información contextual relevante a dichos sonidos. La información que los padres capturen de manera selectiva les permitirá conocer oportunamente las necesidades del infante e idealmente anticiparse al llanto.

En la siguiente sección se describen los antecedentes y trabajos relacionados concernientes a las herramientas de captura y acceso.

1.2 Antecedentes

Las herramientas de captura y acceso es un tema que concierne a la investigación en el área de cómputo consciente del contexto (Dey, 2001). Un sistema es consciente del contexto si éste *“utiliza el contexto para proveer información relevante y/o servicios al usuario, donde la relevancia depende de la tarea actual del usuario”* (Salber, Dey, & Abowd, 1999, p. 5). A lo largo del tiempo se ha vuelto más importante archivar documentos utilizados en diversos sectores (*e.g.*, gubernamentales, empresariales, educativos), debido a esto, estas herramientas surgen por la necesidad de construir mecanismos computacionales que permitan a las personas recolectar, archivar y consultar información de una forma fácil.

Un sistema de captura y acceso, que en lo sucesivo lo llamaremos C&A lo definimos tomando como base el trabajo de (2002) de la siguiente manera:

Herramientas para soportar la captura automatizada y el acceso a experiencias vividas dirigidas a aumentar la ineficiencia de los humanos al grabarlas, especialmente cuando hay múltiples fuentes de información relacionadas que son prácticamente imposible de capturar manualmente.

1.2.1 Herramientas de captura y acceso

Existen tres áreas temáticas en las que se clasifican (Truong & Hayes, 2007) las herramientas de captura y acceso: herramientas en el lugar de trabajo, de propósitos educativos, y para la captura continua de información personal y del tiempo de vida.

Diferentes herramientas de C&A que apoyan en el lugar de trabajo se han enfocado principalmente en el trabajo de oficina (*e.g.*, (Ehlen, Purver, & Niekrasz, 2007) (Hayes et al., 2007) (Mynatt, Igarashi, Edwards, & LaMarca, 1999)) Este cuerpo de trabajo permite a los trabajadores de la información a: grabar notas de actividades o de juntas planeadas (*e.g.*,

CALO metting assistant (Ehlen et al., 2007)), o no planeadas (e.g., *DUMMBO* (Brotherton, Abowd, & Truong, 1999)), para alivianar la carga de trabajo de los empleados, y dejar un registro digital de lo acontecido.

Otros proyectos exploran el uso de herramientas de C&A con propósitos educativos (e.g., *LiveBoard* (Elrod et al., 1992), *ButterflyNet* (Yeh et al., 2006)), y de educación (e.g., *CareLog* (Hayes, Gardere, Abowd, & Truong, 2008), *Abaris* (Kientz, Boring, Abowd, & Hayes, 2005)), que ayuden tanto a los catedráticos como a los alumnos a grabar, editar y mantener los registros necesarios para sus actividades y/o tareas.

Más relevante para esta propuesta se encuentran aquéllas herramientas de C&A que permiten la captura continua de información personal. Estos sistemas tienen la intención de proveer a los individuos herramientas para recordar detalles de sus actividades regulares. Los proyectos más relevantes para este trabajo de investigación que se encuentran dentro de esta área, se enfocan en apoyar el cuidado de infantes (e.g., *Estrellita* (Liu et al., 2011), *BabySteps* (Kientz, Arriaga, & Abowd, 2009), *SpeechHome* (Roy et al., 2006)).

Uno de los proyectos principales que explora el uso de herramientas de C&A para entender el lenguaje de los infantes es *The human speechome project* (Roy et al., 2006). El proyecto tiene como propósito desarrollar un modelo computacional que permita observar el proceso que tiene un infante en la adquisición y aprendizaje del lenguaje a través del tiempo. Durante este proyecto se contó con la participación de un infante desde el momento del nacimiento hasta los primeros tres años de vida. La casa del infante se equipó con micrófonos y videocámaras en lugares estratégicos para no ser intrusivos en las actividades cotidianas de la familia, las cuales capturaban las actividades del infante. La captura se realiza únicamente donde aparece el infante.

La finalidad de contar con este tipo de dispositivos es el de grabar todo el contexto con el cual el infante interactúa durante todo el día y todos los días. Sin embargo, debido a que la captura no distingue eventos relevantes (e.g., desde que el infante se levanta en la

mañana) se cuenta con una inmensa cantidad de datos que el sistema debe de almacenar en dispositivos especializados, y los usuarios muchas veces se abruma con la inmensa cantidad de información, por la que tienen que navegar para encontrar aquellos segmentos de información relevante. Para apoyar en la navegación, el sistema cuenta con mecanismos para el “acceso selectivo” de información, que les permiten a los padres de familia seleccionar la información relevante o eliminar aquella irrelevante (*e.g.*, partes del video privadas).

Es importante tener herramientas de captura y acceso que nos permitan capturar puntos claves del contexto y desarrollar mecanismos que permitan inferir o analizar estas actividades. Con la misma motivación de facilitar a los usuarios a navegar entre estas cantidades de información, otros investigadores han estudiado como se puede indexar el video durante la captura y “no a posteriori”.

El “archivo selectivo” permite a un usuario indexar la información durante la captura agregando etiquetas a la información que el usuario esta capturando, las etiquetas funcionan como un marcador que permite extraer segmentos de información próximos a dicho marcador, y que el usuario considera relevantes (ver figura 1).

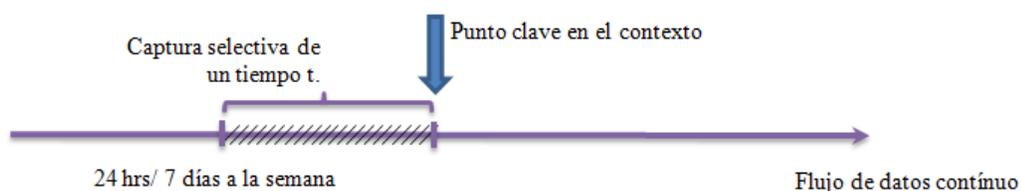


Figura 1. Captura selectiva.

Por ejemplo, Carelog (Hayes et al., 2008) es un sistema manual de captura y acceso para el “archivo selectivo” que ayuda a los maestros de educación especial a evaluar el comportamiento inapropiado de estudiantes con autismo mediante el uso de videograbaciones y de audio. Para permitir el archivo selectivo, el maestro cuenta con un control remoto, similar al que se utiliza para controlar un ventilador automático, que le

permite al usuario manualmente indexar comportamientos relevantes de los alumnos (*e.g.*, si un niño demuestra una agresión). Al indexar este comportamiento el sistema agrega una etiqueta a la información que se capturó, y recupera la información almacenada 5 minutos antes, y 5 minutos después de esta etiqueta.

Sin embargo, en sistemas actuales de “archivado selectivo”, los usuarios tienen que indexar información de manera manual, por lo que quedan preguntas abiertas de cómo estas herramientas pueden potenciarse con reconocimiento de contexto para que el archivado selectivo se realice de manera automática.

1.2.2 Potenciando la captura selectiva de información con reconocimiento de contexto

La investigación en reconocimiento de contexto ha sido prevalente en el área de cómputo ubicuo. Diferentes investigadores han estudiado diferentes algoritmos de clasificación (*e.g.*, redes neuronales, cadenas de Markov, maquinas de soporte vectorial) para estimar diferentes variables contextuales (*e.g.*, actividad (Sanchez, Tentori, & Favela, 2008), localización (Castro & Favela, 2008), movimientos (Asadzadeh, Kulik, & Tanin, 2011)).

Más relevante para esta propuesta se encuentran los proyectos que han propuesto soluciones para reconocer el llanto infantil. El proceso de reconocimiento automático del llanto es básicamente un problema de reconocimiento de patrones. El objetivo consiste en tomar el llanto como un patrón de entrada y luego obtener el significado de lo que representa.

De manera general, un mecanismo para reconocer el llanto, sigue un esquema similar al que se usa para reconocer el habla. El cual consiste básicamente de dos fases, la primera, es el procesamiento de la señal, donde las señales de audio se segmentan en unidades de llanto, se elimina el ruido ambiental, y se extraen “muestras” que contengan llanto. De estas

“muestras” de llanto, se extraen las características o rasgos acústicos más importantes o de interés (García Oroszco & Reyes, 2003), las cuales, se utilizan para formar un “vector de características” de entrada a un clasificador (*e.g.*, cadenas ocultas de Markov (Lederman et al., 2008), máquinas de soporte de vectores (Amaro Camargo & Reyes García, 2007), redes neuronales artificiales (Jam & Sadjedi, 2009), y modelos difusos (Suaste Rivas, Díaz Méndez, Reyes García, & Reyes Galaviz, 2006)).

Es de suma importancia seleccionar el método que mejor se adecue para la interpretación y el reconocimiento de la información contextual en tiempo real, debido a que los métodos disponibles sólo se enfocan en analizar el llanto. Los métodos disponibles para el análisis del llanto infantil (*e.g.*, cadenas ocultas de Markov (Lederman et al., 2008), máquinas de soporte vectorial (Amaro Camargo & Reyes García, 2007), redes neuronales artificiales (Jam & Sadjedi, 2009), y modelos difusos (Suaste Rivas et al., 2006)) no toman en cuenta estos patrones previos al llanto ni otra información contextual que indiquen las necesidades del infante.

1.3 Planteamiento del problema

Los estudios anteriores manifiestan la importancia de potenciar las herramientas de C&A para “archivado selectivo” con algoritmos de reconocimiento de contexto para facilitar la captura y el acceso de información. El diseño de estas herramientas presenta dos retos fundamentales:

- a) Es importante identificar qué información contextual es necesaria capturar y cómo el sistema puede capturar esta información de manera automática. Por ejemplo, si se captura sonido y movimiento las 24 horas del día los 7 días de la semana, requerirá de una enorme capacidad de almacenamiento, además de que será una actividad que consume mucho tiempo si no se hace automáticamente. Por lo que, es necesario

contar con mecanismos que permitan el reconocimiento automático de puntos de interés (*e.g.*, llanto infantil) que permitan archivar e indexar información relevante.

- b) Es necesario proveer métodos adecuados para introducir esta tecnología en ambientes reales donde los usuarios interactúan (*e.g.*, padres de familia en un entorno del hogar) y proporcionarle a los usuarios notificaciones de los eventos relevantes. Estos mecanismos de notificación no deben sobrecargar de información al usuario, además de que se debe diseñar de tal manera que requiera el mínimo esfuerzo por parte de los usuarios (*e.g.*, padres de familia).

A pesar de esto, las herramientas de C&A para el “archivado selectivo” pasan por alto estos retos (*e.g.*, (Hayes et al., 2008)), y pocos proyectos han investigado el impacto de las herramientas de C&A de “archivado selectivo” en escenarios reales (*e.g.*, (Hayes et al., 2008)). Por lo que hay muchas preguntas abiertas en relación al espacio de diseño de estas herramientas, y su impacto en un escenario concreto.

Un área que es particularmente interesante para explorar el espacio de diseño de las herramientas de C&A para “archivado selectivo” es el cuidado de infantes. No solo los padres de familia capturan grandes cantidades de información de su nuevo bebé (*e.g.*, fotos, videos (Kientz et al., 2009)), si no que la pronta atención hacia el infante puede depender de la angustia que se perciba en el llanto del infante y del contexto en el que se encuentren (Wood & Gustafson, n.d.).

La captura continua de información personal para infantes se puede potenciar mediante el “archivado selectivo automático” indexando de manera automática de acuerdo a Dunstan (Dunstan, 2008) la presencia del llanto para que posteriormente el sistema pueda anticipar las necesidades del infante previas al llanto. En particular, para el cuidado de infantes es de suma importancia que la captura se efectúe de manera automática ya que de lo contrario, puede generar más estrés al padre de familia, por estar pendiente de hacer dicha captura en vez de prestarle una total atención al infante.

En esta tesis se propone explorar el espacio de diseño del “archivado selectivo automático” para estimar las necesidades del bebé antes del llanto. El siguiente escenario muestra la problemática que se plantea, y un uso hipotético del sistema:

Un día, la madre atiende a su bebé porque lo escucha llorar, al mismo tiempo, la herramienta C&A colocada en el buró de la cuna, guarda automáticamente los movimientos y sonidos acontecidos 5 minutos previos al llanto. Luego, al final del día la madre registra en el sistema la actividad que realizó para que el niño dejara de llorar (*i.e.*, la necesidad del bebé); que en ese momento el bebé lloraba porque tenía hambre y quería comer. Al día siguiente, el sistema detecta los mismos patrones de movimiento y sonidos en el bebé antes de que este llore, por lo que el sistema emite un aviso a la madre para indicarle que el sistema cree dada su memoria que su hijo necesita comer, de esta forma, la madre le prepara el biberón y evita que su hijo llore.

1.4 Preguntas de investigación

En base a esta problemática, esta tesis se va a guiar en base a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué patrones de sonidos y movimientos previos al llanto consideran los padres de familia importantes para anticipar las necesidades de un infante?
- ¿Qué algoritmos permiten detectar con suficiente precisión el llanto del bebé, y los patrones de sonidos y movimientos relevantes?
- ¿Cómo las herramientas de C&A selectiva de sonidos y movimientos apoyan a los padres de familia a identificar la necesidades de un bebé?

1.5 Objetivo general y específicos

Tomando como base nuestra previa experiencia y las oportunidades que las herramientas de captura y acceso ofrecen para apoyar la problemática que se presentó, en este proyecto nos enfocaremos en el siguiente objetivo general:

Diseñar, implementar y evaluar una herramienta de captura y acceso que utilice algoritmos de reconocimiento del llanto infantil, sonidos y movimientos para el archivado selectivo y automático de las necesidades del infante.

A través de este objetivo general se planean lograr los siguientes objetivos específicos:

[OE1] Identificar las variables contextuales, sonidos y movimientos relevantes que los padres de familia utilicen para anticipar las necesidades del bebé.

[OE2] Diseñar e implementar una herramienta de captura y archivado selectivo que permita a los padres de familia capturar en tiempo real las variables contextuales relevantes previas al llanto infantil.

[OE3] Diseñar un algoritmo que permita realizar el reconocimiento del llanto infantil con una precisión razonable.

[OE4] Evaluar el sistema de C&A selectivo en un escenario concreto.

1.6 Importancia de la investigación, contribución al conocimiento y limitaciones

Dada la naturaleza, los objetivos, y la finalidad de la presente investigación, la contribución al conocimiento dentro del campo de las ciencias de la computación es la de diseñar e implementar una herramienta de captura y acceso que permita la captura selectiva en tiempo real de la información relevante (*i.e.*, sonidos y movimientos del infante). Además esta herramienta estará potencializada con el reconocimiento del llanto infantil para efectuar el proceso del archivado selectivo.

Las limitaciones fundamentales de la tesis vienen a recaer en lo siguiente:

- Materiales (*e.g.*, dispositivos móviles, sensores, recursos monetarios, etc.); que no pudieran estar disponibles por alguna razón.
- Humanos (*i.e.*, reclutamiento de padres de familia); que los participantes reclutados no tengan una participación adecuada y/o correcta.
- Al diseñar el sistema exclusivamente para niños con salud normal, los resultados no podrán ser necesariamente generalizables.

1.7 Metodología de la investigación y cronograma de actividades

Las actividades que se plantean para este proyecto incluyen las siguientes (ver tabla 1 para más detalle):

1.7.1 Estudio contextual y sesiones participativas de diseño

Por un periodo de 2 meses, se realizarán 4 entrevistas semi-estructuradas con padres de familia que cuiden a un infante y 2 sesiones participativas de diseño con los usuarios potenciales para entender: las estrategias que los padres de familia siguen para identificar las necesidades del infante, y los sonidos y movimientos relevantes antes del llanto infantil.

Se utilizarán métodos formativos de diseño incluyendo diseño basado en escenarios, prototipos de baja fidelidad, y análisis de afinidad para analizar los datos que se recaben en esta etapa. Los resultados que se esperan de esta etapa incluyen: (1) un entendimiento de las variables contextuales, sonidos y, movimientos y (2) un conjunto de escenarios realistas que muestran el uso de herramientas de C&A en apoyo a la captura selectiva de los sonidos y movimientos relevantes antes del llanto infantil.

1.7.2 Diseño y desarrollo del sistema

Por un periodo de 4 meses se diseñará e implementará una herramienta de C&A que permita la captura selectiva de la información contextual asociada a los sonidos y movimientos previos al llanto infantil. Se utilizarán los resultados de las sesiones participativas para diseñar diferentes prototipos de baja fidelidad que podrán evaluarse a diferentes etapas de su implementación con usuarios potenciales.

Una vez seleccionado el prototipo que mejor se adapte a las necesidades de los usuarios, se implementara en un dispositivo móvil (*i.e.*, tableta o Smartphone) para que los padres de familia puedan colocarla donde se encuentre el infante. Los resultados esperados de esta fase incluyen el prototipo que permita capturar la información contextual de forma selectiva para que posteriormente se analice y se estime el llanto infantil.

1.7.3 Evaluación en sitio y análisis de datos

Durante los últimos meses del proyecto se evaluará el sistema propuesto para mostrar la factibilidad técnica y aplicabilidad de estas tecnologías en apoyo a los padres de familia a través de un estudio de evaluación (3 meses). Se contará con la participación de una familia durante el estudio de evaluación, a los cuales se les proporcionará un dispositivo móvil con el sistema instalado para que capture los sonidos y movimientos que realice el infante en un entorno familiar.

Durante los tres últimos meses se analizarán los datos recabados para identificar los patrones comunes entre los sonidos y movimientos previos al llanto para identificar el vocabulario del bebé. Los resultados de esta fase incluyen la percepción de los usuarios potenciales acerca del impacto del sistema implantado en un escenario concreto.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

Objetivos	Actividad	Año/Mes														
		2012					2013									
		Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
OE1	Diseñar estudio.	X	X				X				X					
	Revisar literatura.	X	X													
	Conducir entrevistas semi-estructuradas.		X													
	Diseñar prototipos de baja fidelidad.		X	X												
	Realizar sesiones de diseño participativo.		X	X												
	Diseñar sistema para la captura selectiva.			X	X	X										
OE2	Revisar literatura para identificar el llanto infantil, movimientos y sonidos.						X									
	Implementar un algoritmo para identificar el llanto infantil, sonidos y movimientos.						X	X	X							
	Implementar el módulo de archivado selectivo.							X								
	Evaluar los algoritmos y realizar pruebas de usabilidad en laboratorio.								X							
	Planear el estudio e implantación del sistema.									X						
OE3	Evaluar en sitio.										X					
	Analizar datos.										X	X				
	Escribir tesis.	X				X			X			X	X			
	Defender tesis.												X	X	X	
	Presentar avances.	X		X							X	X	X			

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Introducción

En esta tesis, se propone entender los patrones de sonidos previos al llanto infantil y las variables contextuales que son relevantes para inferir el lenguaje de los bebés. Se propone desarrollar un sistema de captura y acceso, que permita a los padres de familia, la captura selectiva de los sonidos y movimientos previos al llanto del bebé, y asociar información contextual relevante a dicha captura.

El presente capítulo tiene como finalidad hacer un marco teórico para tener una idea clara y concisa del cuerpo de literatura relevante a este trabajo. Por tal motivo se explicarán conceptos relacionados al comportamiento del niño, y las propuestas más relevantes en relación al diseño e implementación de herramientas de captura y acceso de información contextual (*e.g.*, *PEPYS* (W. M. Newman, Eldridge, & Lamming, 1991), *Marcel* (W. Newman & Wellner, 1992), *Workspace navigator* (Ju, Ionescu, Neeley, & Winograd, 2004)), y estudios enfocados a entender la experiencia de interacción de los humanos con estas herramientas (*e.g.*, *Estrellita* (Liu et al., 2011), *Babysteps* (Kientz et al., 2009)) y su impacto en la práctica diaria (*e.g.*, *Virtual baby feeding* (Petrasova et al., 2010)).

2.2 Metodología

La información que se discute en este documento incluye contenido de publicaciones de carácter científico (*e.g.*, artículos, libros). La metodología para recopilar y acceder a dicho contenido incluye la búsqueda de información en la librería digital de ACM², en donde se encuentran las tres principales conferencias que están relacionadas a la investigación de

² ACM indexa la mayor cantidad de librerías relevantes para esta área de investigación, incluyendo artículos en publicados en IEEE, Springer entre otras revistas (*journals*). Página web <http://dl.acm.org/>

este proyecto (*i.e.*, *Conference on Human Factors in Computing System (CHI)*³, *Ubicomp*⁴, e *Interaction Design and Children (IDC)*⁵).

Los términos de búsqueda que se utilizaron incluyen una combinación de las siguientes palabras en inglés: *infant*, *cry*, *newborn*, *baby*, *context aware computing*, *sound classification*, *audio analysis*, *capture and access*, y *speech*. Del resultado de la búsqueda, se seleccionaron aquellos relevantes a la investigación (*e.g.*, sistemas de C&A, experiencias de uso de C&A, y algoritmos para reconocer audio, y llanto de infantes), y los artículos que se citaron repetidamente.

Como resultado de esta búsqueda definimos el proyecto en tres grandes bloques. Primero, se describen las metodologías más sobresalientes para el análisis del reconocimiento del llanto infantil, incluyendo el análisis del infante ante situaciones sociales, fisiológicas y de bienestar. Posteriormente, se describen modelos de reconocimiento de patrones para el llanto infantil. En el tercer bloque, se describen los estudios que se han llevado a cabo para realizar herramientas de captura y acceso.

2.3 Vocabulario del infante y llanto infantil

El sonido del llanto es producido por el sistema respiratorio. Cuando un infante exhala aire “a la fuerza”, este pasa a través de la laringe produciendo una serie de vibraciones que llegan a ser aproximadamente de 250 a 450 Hertz (Hz) o ciclos por segundo, las cuales el canal auditivo del ser humano las reconoce como llanto.

El estudio del llanto infantil se remonta desde antes de la década de los 60’s cuando diferentes investigadores encuentran un valor práctico al estudiar el llanto infantil, resaltando qué dada la falta de madurez física y mental del infante para comunicarse con

³ <http://www.sigchi.org/>

⁴ <http://www.ubicomp.org/>

⁵ <http://dl.acm.org/event.cfm?id=RE260&tab=pubs&CFID=123097911&CFTOKEN=59674377>

sus padres o sus cuidadores, el infante tiende a llorar para expresar alguna necesidad (*e.g.*, hambre, sed), incomodidad (*e.g.*, falta de sueño) o desagrado (*e.g.*, ruido, calor). Más allá, de utilizar el llanto como un “medio de expresión” los infantes también lloran porque tienen algún padecimiento patológico o desorden fisiológico relacionado a alguna enfermedad adquirida desde su nacimiento o durante su desarrollo (LaGasse, Neal, & Lester, 2005).

De acuerdo al “propósito” del llanto, este se puede clasificar (Lederman, n.d.) en:

- Llanto anormal, provocado por algún desorden físico o patológico, o
- Llanto normal, como “medio expresión” causado por alguna necesidad del infante.

Debido a esto, el llanto no es solamente un comportamiento nativo del niño, sino que, está directamente relacionado con algún malestar influenciado por la salud, el contexto y la actitud en la que el infante se encuentre (LaGasse et al., 2005). Es por ello que el llanto posibilita determinar la angustia del niño, y una vez que los padres comiencen a inferir el comportamiento del niño y a reconocer el motivo del llanto podrán garantizarle mejores atenciones y cuidados.

Es por ello que es necesario tomar en cuenta las relaciones que existen entre ellos, en especial la relación con la madre con la que el infante tiene un vínculo más cercano. En este sentido, otros proyectos (*e.g.*, (Donovan, Leavitt, & Walsh, 1990), (Zeifman, 2003)) estudian cómo la madre aprende y se entrena para responder a las necesidades del niño.

Por ejemplo, un estudio mostró que el comportamiento de las madres puede estar influenciado por el llanto del infante (*i.e.*, en general el ritmo cardiaco de las madres se alteraba al escuchar el llanto de su bebé (Donovan, 1981)). En otro estudio, se encontró que las madres que han dado a luz más de una vez tienen un mejor entendimiento de las necesidades del infante, y sus reacciones han sido más acertadas (Drummond, McBride, & Wiebe, 1993).

Por último, otro estudio evaluó los retardos que tienen los adultos para responder a los llantos de los infantes en función del sufrimiento del infante (*i.e.*, cuando el infante suena menos o más angustiado) concluyendo que las respuestas de los adultos están influenciadas por gradaciones acústicas del llanto y por el contexto familiar (Wood & Gustafson, n.d.).

2.4 Reconocimiento de patrones para analizar el llanto infantil

El proceso de reconocimiento automático del llanto del infante es básicamente un problema de reconocimiento de patrones. El objetivo consiste en tomar el llanto como un patrón de entrada y luego obtener el significado de lo que representa.

De manera general, un mecanismo para reconocer el llanto, sigue un esquema similar al que se usa para reconocer el habla. El cual consiste básicamente de dos fases, la primera, es el procesamiento de la señal, donde las señales de audio se segmentan en unidades de llanto, se elimina el ruido ambiental, y se extraen “muestras” que contengan llanto. De estas “muestras” de llanto, se extraen las características o rasgos acústicos más importantes o de interés (García Oroszco & Reyes, 2003), las cuales, se utilizan para formar un “vector de características” de entrada a un clasificador (*e.g.*, cadenas ocultas de Markov (Lederman et al., 2008), máquinas de soporte vectorial (Amaro Camargo & Reyes García, 2007), redes neuronales artificiales (Jam & Sadjedi, 2009), y modelos difusos (Suaste Rivas et al., 2006)).

Durante la fase de reconocimiento de patrones o de la clasificación, se toma el “vector de características” y se compara con la “memoria” de los patrones aprendidos durante la etapa de entrenamiento. Después se utilizan ciertas reglas para decidir la causa del llanto como la salida, de acuerdo alguna la necesidad (*e.g.*, en función del tiempo).

Diversos proyectos de investigación se han abocado al estudio de los sonidos asociados al llanto infantil, debido a que tienen el interés de conocer las necesidades que tiene el

infante (*e.g.*, fiel discriminación de las frecuencias emitidas por el llanto (Reyes García, Cano Ortíz, & Arch Tirado, 2009), caracterización del significado que tienen las diferentes modulaciones del llanto (Hidayati, Purnama, & Purnomo, 2009), y algoritmos evolutivos para la clasificación del llanto infantil (Rosales Pérez, Reyes García, & Gómez Gil, 2011).) En general esta literatura se ha enfocado a estimar el llanto infantil de acuerdo a su clasificación: llanto anormal, y normal.

2.4.1 Llanto anormal

Diversos proyectos proponen diferentes herramientas que permiten clasificar el llanto infantil para identificar varios estados patológicos del infante, incluyendo daño cerebral (*e.g.*, *Infant crying* (Boukydis & Lester, 1985)), labio hendido (*e.g.*, *Markov models* (Lederman et al., 2008)), y el síndrome infantil de muerte repentina (*e.g.*, *SIDS* (Colton & Steinschneider, 1981)).

Este cuerpo de literatura, se enfoca en dar soporte y ayudar a los infantes ante situaciones clínicas (*e.g.*, uso del llanto producido por el niño para inferir alguna patología (Reyes García et al., 2009)). Esta información permite al pediatra detectar y predecir oportunamente diagnósticos médicos.

Por ejemplo, el proyecto llamado “análisis automático del llanto infantil para la identificación de características cualitativas para ayudar en un diagnóstico oportuno” (Ruíz Díaz, Reyes García, Altamirano Robles, Xalteno Altamirano, & Verduzco Mendoza, 2012) desarrolla un método que automáticamente identifica, mide, y resalta características importantes en las grabaciones del llanto. El proceso de identificación empieza en descubrir automáticamente las unidades de llanto, las cuales son determinadas por las frecuencias de audio. El proceso identifica la forma melódica (*i.e.*, el cambio en la frecuencia fundamental), el ascenso y descenso de la frecuencia fundamental, y las concentraciones de

ruido. Estas unidades de llanto que caracterizan a una patología, las utiliza posteriormente el pediatra como ayuda para emitir un diagnóstico oportuno (Ruíz Díaz et al., 2012).

2.4.2 Llanto normal

Otros proyectos se enfocan en identificar el llanto en situaciones normales (*e.g.*, (Hidayati et al., 2009)) conociendo la identidad del infante que está llorando (*e.g.*, (Messaoud & Tadj, 2010)), y emulando la capacidad que tiene una madre para reconocer a su bebé por medio del llanto.

2.5 Herramientas de captura y acceso a la información (C&A)

Las herramientas de captura y acceso es un tema que es propio de la investigación en el área de cómputo consciente del contexto (Dey, 2001), y este cuerpo de trabajo es relevante para esta propuesta, ya que utilizan el contexto para determinar cuál es la información relevante a capturar en presencia de llanto.

Existen tres áreas temáticas en las que se clasifican (Truong & Hayes, 2007) las herramientas de captura y acceso (*i.e.*, herramientas en el lugar de trabajo, de propósitos educativos, y para la captura continua de información personal y del tiempo de vida.).

2.5.1 Herramientas de C&A en el lugar de trabajo

Existen diferentes herramientas de C&A que apoyan el trabajo de oficina (*e.g.* (Ehlen et al., 2007) (Hayes et al., 2007) (Mynatt et al., 1999).) Este cuerpo de trabajo incluye principalmente herramientas de C&A que permiten a los trabajadores de la información a: grabar notas de actividades o de juntas planeadas (*e.g.*, *CALO meeting assistant* (Ehlen et al., 2007)), o no planeadas (*e.g.*, *DUMMBO* (Brotherton et al., 1999)), alivianar la carga de trabajo de los empleados y, dejar un registro digital de lo acontecido.

Por ejemplo, *Forget me not* (Mik Lamming & Flynn, 1994) es un sistema móvil que utiliza una PALM para ayudar a recordar al usuario las actividades (*e.g.*, llamarle a alguien) o cosas que se le hayan olvidado (*e.g.*, un documento). Este sistema persigue la noción del cómputo ubicuo (Weiser, 1999) de sacar el soporte computacional hacia fuera del escritorio a donde sea que el usuario vaya. De esta manera, se captura el contexto de la información, la cual el sistema posteriormente interpreta y clasifica para que quede registrada por el usuario, de manera permanente.

Similarmente, *No timex* (Michael Lamming, 1991) es una aplicación que está diseñada para funcionar también dentro del contexto de la oficina, y lo que hace es permitir al usuario grabar notas de voz y permite añadirle notas escritas que pueden sincronizarse mutuamente.

2.5.2 Herramientas de C&A de propósitos educativos

Otros proyectos exploran el uso de herramientas de C&A con propósitos educativos (*e.g.*, *LiveBoard* (Elrod et al., 1992), *ButterflyNet* (Yeh et al., 2006)), y de educación (*e.g.*, *CareLog* (Hayes et al., 2008), *Abaris* (Kientz et al., 2005)).

Por ejemplo, *Carelog* (Hayes et al., 2008) es un sistema manual de captura y archivado selectivo que ayuda a evaluar el comportamiento inapropiado de los alumnos mediante el uso de videograbaciones y de audio. Para lograr lo anterior, el maestro cuenta con un control remoto, similar al que se utiliza para controlar un ventilador automático, que le permite al usuario manualmente indexar comportamientos relevantes de los alumnos (*e.g.*, si un niño demuestra una agresión).

Al indexar este comportamiento el sistema permite el “archivado selectivo”, La información es almacenada 5 minutos antes y después de cuando el usuario indexó el video.

El usuario puede establecer; cantidad de tiempo (*i.e.*, los 5 minutos) para grabar estos episodios. También la misma interfaz tiene opciones para agregar metadatos para que el maestro pueda describir lo sucedido. Además, el sistema tiene la posibilidad de sincronizar las grabaciones a una laptop para llevarlas fuera de la escuela para analizar y/o etiquetar los videos.

ButterflyNet (Yeh et al., 2006) es una herramienta que les permite a los biólogos grabar sus notas de campo e integrarlas con información digital provenientes de fotografías, sensores y GPS que toman manualmente en el lugar de trabajo. El usuario descarga estos datos en una computadora para que los revise y haga sus análisis correspondientes, esto les permite tener evidencia confiable, y segura de todas sus actividades. La captura de la información digital se hace manual, ya que ellos toman sus notas en su libreta, y toman alguna fotografía o información relevante proveniente de los dispositivos que traen consigo (*e.g.*, GPS, video, sonido, especímenes físicos) que les permita recordar o identificar claramente a su objeto de estudio. Una vez capturada la información, la computadora integra la información (ver figura 2) para su análisis.

El proyecto básicamente se divide en dos partes, la primera, para la captura de información manual por medio de dispositivos que llevan al área de estudio. Los dispositivos que utilizan son una cámara inteligente que toma fotos, video, audio, lectores de sensores y, GPS. La segunda parte es una interfaz de computadora que permite integrar los datos recabados de manera sencilla y confiable, los usuarios pueden entrar a un editor parecido a Excel para registrar la información, pueden incrustar fotos, y tablas de información capturada.

Existen más proyectos que sin duda nos pueden aportar conocimiento a esta área (*e.g.*, *eClass Project* (Abowd, 1999), *Audio notebook* (Stifelman, Arons, & Schmandt, 2001), *Walden monitor* (White et al., 2003).

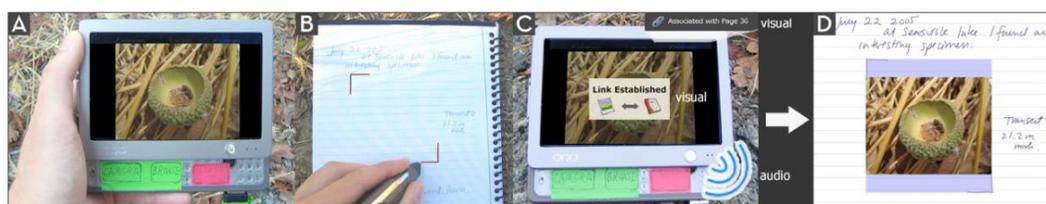


Figura 2. Uso del hotspot ButterflyNet, un usuario A) captura/busca una foto, luego B) dibuja el gesto del hotspot en una libreta. C) una cámara inteligente provee en tiempo real retroalimentación de manera visual o en audio. D) ButterflyNet interpreta la foto asociada en pantalla con notas digitales.

2.5.3 Herramientas de C&A tolos para la captura continua de información personal y del tiempo de vida

Las herramientas C&A para la captura continua de información personal y del tiempo de vida, tienen la intención de proveer a los individuos herramientas para recordar detalles de sus actividades regulares. Los proyectos más relevantes para este trabajo de investigación se encuentran dentro de esta área, ya que se han enfocado en apoyar el cuidado de infantes (e.g., *Estrellita* (Liu et al., 2011), *BabySteps* (Kientz et al., 2009), *SpeechHome* (Roy et al., 2006)).

Estrellita (Liu et al., 2011) es una herramienta de captura y acceso automatizada que permite a los padres de infantes prematuros, capturar información relevante acerca de sus hijos, y compartir la información con sus pediatras, parientes cercanos y amigos. El sistema incluye dos interfaces: una aplicación móvil (figura 3) y una interfaz basada en web, a través de la cual los pediatras pueden acceder, y analizar los datos. La aplicación móvil permite a los padres actualizar la información del estado de salud de sus hijos, consultar advertencias generadas por el sistema o generadas por los pediatras, actualizar datos acerca de su salud y bienestar y, etiquetar puntos específicos de datos de su interés. La interfaz basada en web permite a los profesionales revisar la información de sus pacientes. Parientes y profesionales también pueden usar el sistema para comunicarse de manera segura entre ellos.



Figura 3. Interfaz móvil de Estrellita: (izquierda) el tablero de instrumentos, (centro) la información para la captura de usos del pañal, y (derecha) el widget para el teléfono de la pantalla de la casa.

Baby Steps (Kientz et al., 2009) es una aplicación diseñada para ir registrando los “hitos”⁶ del niño (e.g., levantar la cabeza, revisar si el bebé puede patear una pelota sin tener apoyo de un agente externo) que va desde el nacimiento hasta la culminación de la infancia. Al ir registrando esta clase de información, se genera una gran cantidad de información que los padres de familia y los pediatras pueden utilizar para llevar el historial del desarrollo y crecimiento del niño, con esta información se pueden prevenir o tratar mal funcionalidades que pueda tener el niño.

Uno de los proyectos más importantes que se han venido trabajando en el área del desarrollo del habla es el llamado *The human speechome project* (Roy et al., 2006). El proyecto tiene como propósito desarrollar un modelo computacional que permita observar el proceso que tiene un infante para la adquisición y aprendizaje de la lengua a través del tiempo. Para esto, se contó con la participación de un infante desde el momento del nacimiento hasta los primeros tres años de vida, la casa del infante se equipó con micrófonos y videocámaras en lugares estratégicos para no ser intrusivos en las actividades cotidianas de la familia. La captura se hace donde aparece el infante. Además el sistema cuenta mecanismos que permiten hacer un adecuado y fácil manejo de información con opciones de edición de la información capturada, como por ejemplo para eliminar partes del video privadas. Además se implementaron mecanismos que permiten asegurar la privacidad de los padres y de los familiares que se encuentren dentro del hogar.

⁶ Pequeñas actividades que el niño debe de ir cumpliendo a una determinada edad.

La finalidad de contar con este tipo de dispositivos es el de grabar todo el contexto con el cual el infante interactúa durante todo el día y todos los días, debido a esto, se cuenta con una inmensa cantidad de información que debe de ser almacenada en dispositivos especializados.

Otro tipo de captura se le conoce como captura pasiva porque el usuario no necesita indicarle a la herramienta que empiece a grabar, provocando que el usuario pueda no tener conciencia de que se está grabando por lo que no interrumpe de ninguna manera las actividades cotidianas que realiza. *SenseCam* (Gemmell, Williams, Wood, Lueder, & Bell, 2004) es un proyecto interesante que muestra como se puede ir registrando el paso del tiempo de una persona, sin importar en el lugar en donde se encuentre o con quien esté presente.

SenseCam es un dispositivo que combina una cámara fotográfica y otros sensores sujetado a un colgante en el cuello, el cual va capturando fotografías en determinados momentos de interés para el usuario, que puede ir desde pasar de un cuarto a otro en su hogar o hasta estar conversando con amigos en el bar. El dispositivo no cuenta con ninguna clase de botones ni pantallas, y todo el registro se concentra en un servidor web llamado *MyLifeBits* (Gemmell, Bell, Lueder, Drucker, & Wong, 2002), el cual puede ser visitado más tarde por el usuario. De esta manera se puede conocer fielmente que actividades estaba realizando a una determinada hora e ir estableciendo posibles patrones conductuales para eventualmente inferir actividades.

Además existen muchos otros ejemplos que podemos señalar por la utilidad que nos ofrece para la captura selectiva.

LyfeLog system (Aizawa, Tancharoen, Kawasaki, & Yamasaki, 2004) permite mediante el censado del contexto adquirir información de medios capturados. Este sistema puede detectar voz, cara y escenarios de conversaciones, usa diferentes tipos de sensores que le permiten describir la información capturada.

Conference assistance (Dey, Salber, Abowd, & Futakawa, 1999) es una aplicación móvil que permite tomar notas que automáticamente se integran con las conferencias visitadas para que posteriormente sean revisadas.

Careview Project (Mamykina, Goose, Hedqvist, & Beard, 2004) es una aplicación que permite a las enfermeras soportar el trabajo de la adquisición de la información en la casa de los pacientes.

Además de estos proyectos existen muchos que ofrecen características particulares de acuerdo al contexto y a las necesidades que se tengan (*e.g.*, *LAFcam* (Lockerd & Mueller, 2002), *Living memory box* (Stevens, Abowd, Truong, & Vollmer, 2003), *Life lines project* (Plaisant, Milash, Rose, Widoff, & Shneiderman, 1996).)

2.6 Conclusiones

El aumento y las mejores capacidades tecnológicas a lo largo del tiempo han permitido que éstas ayuden a las áreas del desarrollo humano. En lo particular las herramientas de C&A permiten registrar eventos de la vida diaria, es decir, las herramientas se van adentrando cada vez más en todo lo que hacemos, para que sea más fácil inferir las actividades del usuario, de esta manera, se podrá predecir, monitorizar o diseñar dispositivos que sean proactivos y que ayuden al usuario en su vida cotidiana (ver tabla 2).

Tabla 2 Resumen de las herramientas de C&A.

Dominio			Modo de captura		
En el lugar de trabajo	De propósitos educativos	Lifelogging	Selectiva	Automática	Manual
CALO				X	X
DUMBO					X
Forget-me-not				X	X
NoTimex					X
	Carelog		X		X
	Live Board				X
	Abaris		X	X	
	Butterfly Net			X	X
		Estrellita			X
		Baby Steps			X
		SpeechHome		X	
		SenseCam		X	

Dentro de esta tesis es importante la captura del contexto en un ambiente familiar dentro del hogar porque nos permitirá conocer qué actividades, gestos o cualquier otro comportamiento realiza el infante.

Entonces podemos decir que en base a los estudios descritos anteriormente, es necesario tener mecanismos de captura de información que sean capaces de capturar puntos importantes del contexto de manera selectiva y, desarrollar mecanismos que permitan inferir o analizar estas actividades.

Capítulo 3. Entendimiento inicial

3.1 Introducción

En este capítulo se reporta el proceso que se siguió para realizar el diseño de la herramienta de captura y acceso. Se describe la metodología que se utilizó, incluyendo el uso de técnicas de teoría fundamentada y diseño contextual rápido, y cada una de las actividades que se desprenden de ellas. Después se describe el análisis de resultados que se obtuvo de este proceso. El objetivo de este estudio es identificar las variables contextuales, sonidos, y movimientos relevantes que los padres de familia utilizan para anticipar las necesidades del infante.

3.2 Metodología de la investigación

La metodología del estudio involucró la realización de entrevistas a padres de familia (n=3), el análisis correspondiente (*i.e.*, teoría fundamentada y diseño contextual participativo) y las sesiones de diseño participativas⁷. Además de identificar los problemas y estrategias que se desprenden del análisis. El proceso de investigación inicio con una fase de reclutamiento, después continuó con la recolección de datos, y finalmente termino con el análisis de los datos (ver figura 4).

⁷ Las sesiones de diseño participativas son dialécticas efectuadas entre un grupo de personas para llegar a un consenso sobre el diseño funcional de un sistema interactivo.

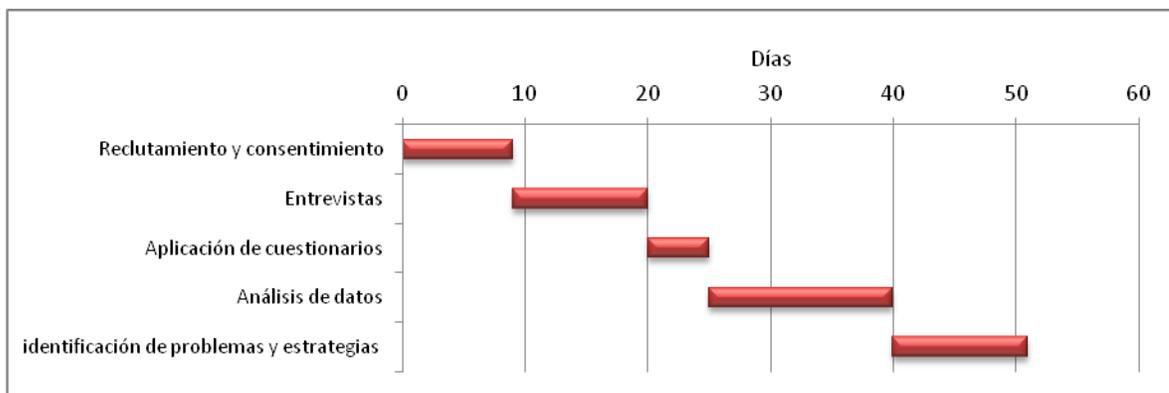


Figura 4. Actividades realizadas en la metodología de investigación. La actividad de análisis de datos son las sesiones de interpretación de datos, y la actividad de identificación de problemas y estrategias son las sesiones de diseño participativo.

3.2.1 Reclutamiento y consentimiento

El reclutamiento se hizo tomando en cuenta a padres de familia de infantes, cuyo estado de salud sean sanos y que todavía no tuvieran la habilidad verbal para comunicarse. Se publicó un folleto en Facebook, y se envió una invitación por correo electrónico. Posteriormente, se contacto de manera individual a los individuos que se mostraron interesados en participar en el estudio para calendarizar citas individuales.

Antes de iniciar el estudio se solicitó a los participantes responder su aprobación a través de un documento de consentimiento (ver apéndice 1), que autoriza a los investigadores a utilizar los datos de la entrevista y utilizarlos únicamente con fines de investigación manteniendo los términos de confidencialidad acordados en todo momento.

3.2.2 Recolección de datos: Entrevistas

Durante un periodo de 1 mes, se realizaron 3 entrevistas semi-estructuradas⁸ con 3 padres de familia (ver tabla 3) con una duración promedio de 35 minutos, y 2 sesiones de

⁸ Una entrevista semi-estructurada es un método de investigación que sigue un formato flexible con un conjunto de preguntas que guían la entrevista pero que permiten que nuevas preguntas se realicen como resultado de las mismas respuestas de los participantes

diseño participativas entre un equipo interdisciplinario (n=4) con una duración promedio de 1 hora (figura 5).

Tabla 3. Datos demográficos de los participantes entrevistados.

ID del participante	Género	Edad (años)	Ocupación	Estado civil	¿Es experto en el uso de dispositivos móviles?
CR1809	F	31-40	Profesionista	Casado	Si
LE2009	F	20-30	Profesionista	Casado	Si
AR2609	M	20-30	Profesionista	Unión libre	Si



Figura 5. Sesión de diseño participativo.

Los datos que se recolectaron se transcribieron para facilitar su análisis posterior.

3.2.3 Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizaron técnicas de teoría fundamentada (Strauss, A., and Corbin, 1994) y diseño contextual rápido (Holtzblatt, Burns Wendell, & Wood, 2004) incluyendo, el uso de codificación abierta (*open coding*) y codificación axial (axial coding) para identificar las “categorías o temas emergentes” de los datos, y diagramas de afinidad (*affinity diagramming*) para agrupar dichas “categorías”. Este conjunto de técnicas sirven para relacionar categorías a sus subcategorías hasta el nivel de dimensiones y propiedades.

Entendiendo que una categoría representa un fenómeno (*e.g.*, problema, evento, etc.) y una subcategoría describe al fenómeno que está representado.

3.2.3.1 Codificación abierta y selectiva

En esta etapa se fracturaron los datos de las transcripciones para examinar y conceptualizar las diversas categorías que emergen de los datos. Esto se hizo etiquetando estas categorías mediante sesiones de interpretación y de manera individual. También se pudieron identificar las propiedades y dimensiones de las categorías que se identificaron.

3.2.3.2 Análisis de afinidad y codificación selectiva

Durante el proceso de análisis de afinidad se realizaron notas de afinidad (*e.g.*, preguntas, ideas de diseño, citas de usuarios, interpretaciones, entre otras) y se identificaron ideas de diseño (*i.e.*, son estrategias que describen patrones, situaciones, etc.), y problemas y estrategias que los informantes enfrentan en su práctica diaria. Durante este periodo se agruparon las categorías y subcategorías más relevantes al proyecto (figura 6). La agrupación se hizo por un equipo de 3 personas en 2 sesiones de interpretación.

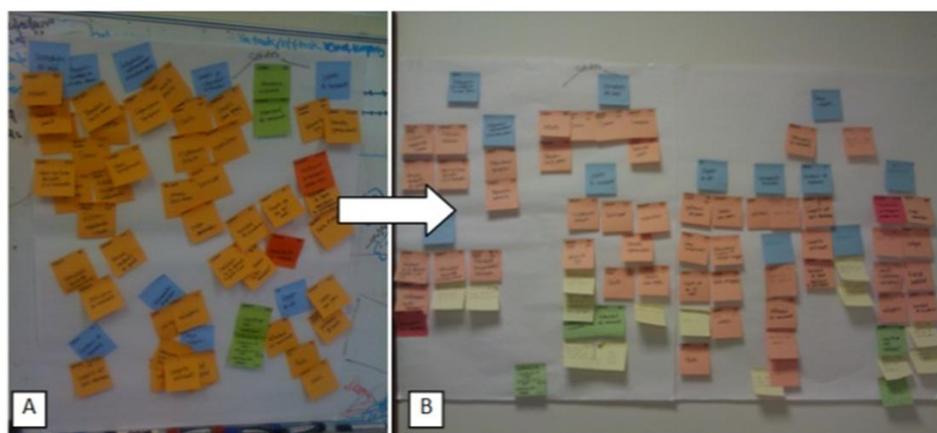


Figura 6. Diagrama de afinidad. Resultados de las categorías durante una sesión de interpretación (izq.) Resultados de la agrupación de las categorías en el diagrama de afinidad final (der)

3.2.3.3 Codificación axial

Finalmente, se empezó a hacer una primera aproximación a las relaciones o conexiones que hay entre las diversas categorías que se identificaron. Estas relaciones están sujetas principalmente al contexto en el cual se encuentren y a las condiciones descubiertas, así como la forma en que se manejan, aparecen, o desaparecen.

3.3 Resultados del análisis de datos

Los resultados que se obtuvieron de esta actividad proveen la organización de las categorías incluyendo las relaciones entre éstas, las cuales se van a tomar como un factor base en etapas posteriores.

3.3.1 Proceso de identificación de necesidades del infante

En la figura 7 se muestra el resultado del análisis de datos que estudia el proceso de identificación de las necesidades del infante y las variables contextuales relacionadas.

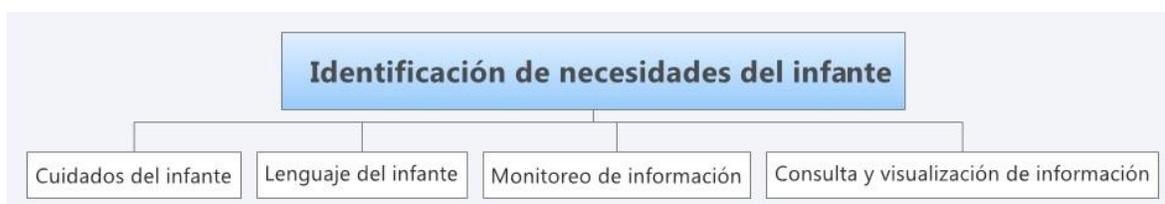


Figura 7. Resultados del diagrama de afinidad

3.3.1.1 Cuidados del infante

En la primera categoría se definen los cuidados que deben proporcionarse a los infantes, indica el tipo de actividades que se necesita realizar para asistirlo las cuales se clasifican en 5 dimensiones:

- Actividades del cuidado diario: Se refiere a las actividades que los cuidadores realizan día con día enfocadas a la atención y el cuidado del infante.

*“Tenemos un itinerario de que cada 4 horas le damos de comer”.*⁹ (AR2609)

“Que esté limpio, que coma, y estar muy pendiente de su pañal”. (LE2009)

- Actividades instrumentadas: Son todas aquellas actividades o eventos que se realizan paso a paso con la finalidad de lograr un objetivo.

“Siempre trato de inculcarle lo que es la estimulación temprana, de estar haciendo sus actividades de ejercicios”. (CR1809)

“Si alguna persona quiere abrazarla primero le doy un juguete de ella para lo que es ese proceso de convencimiento”. (CR1809)

- Actividades no conocidas: Son aquellas actividades que están fuera del alcance de los cuidadores y que por su condición no pueden solucionarse al instante.

“[A veces cuando el bebé llora] no sabemos si esta aburrida o realmente tiene hambre”. (AR2609)

“Si puede haber confusiones, el del hambre si es muy claro, sobre todo porque como dices ya paso tanto tiempo, su necesidad es distinta, pero la de sueño o la de afecto si pueden confundirse”. (AR2609)

- Actividades demandadas por el infante: Aquellas actividades o necesidades que solicita el propio infante (e.g., comida, dormir, atención).

⁹ Las citas mostradas en cursivas y entre comillas son tomadas de las transcripciones de las entrevistas. La información que está enseguida de las citas con un paréntesis es una identificación del informante que dijo esa cita. En investigación cualitativa las citas son los resultados, equivalente a lo que son los números para investigación cuantitativa.

“Otra es el afecto, que quiere que este mucho tiempo con él”. (CR1809)

“Si la verdad si lo considero importante [dormir], pues yo creo que bueno en el caso muy específico de mi niña, tiene el sueño muy pesado, entonces cuando está comiendo si tiene sueño, se queda dormida y es muy difícil que la despertemos o si la despertamos se empieza a quejar y en cuanto la dejamos se vuelve a dormir”. (AR2609)

- Actividades pendientes/relevantes: Son aquellas circunstancias en las cuales una actividad puede fragmentarse o interrumpirse, o puede hallarse anidada o tener cierto grado de recurrencia.

“Los horarios se le empiezan a juntar, entonces muchas veces, por ejemplo a las 2 no quiere comer, pero a las 2:30 ya se empieza a quejar un poco que tiene hambre”. (AR2609)

“Tenemos que estarle tanteando un poco porque hay veces de que se lo tomo a las 10 pero no se tomo todo el biberón pero lo quiso media hora después”. (AR2609)

3.3.1.2 Lenguaje del infante

La segunda categoría trata sobre el lenguaje del infante. Se encontró que el infante principalmente utiliza señales corporales y auditivas como medios de comunicación. El infante utiliza esta forma de comunicación para representar o sustituir a una cosa (*e.g.*, necesidad, atención). Los tipos de señales se clasifican en 6:

- Sonidos: Son cualquiera de las posibles realizaciones de un fonema que pueden ser diferenciados para alguna necesidad en particular.

“Antes de que lllore, es un sonido como te digo de cómo le hace “gaga” o sea, así como de antes de llorar”. (CR1809)

“La forma por la que está llorando es algo distinto, a veces uno como papá siempre estas preocupado en si es algo fuera de tener hambre o de estar sucio, de querer dormir, o sea si está enfermo”. (CR1809)

- **Movimientos:** Son movimientos físicos del cuerpo humano que son diferenciados para alguna necesidad en particular.

“Porqué se talla sus ojitos, como algo muy particular de ella desde muy pequeña tuvo mucho cabello, generalmente se talla detrás de la oreja, se jala un poquito el cabello y se talla los ojitos”. (AR2609)

“Se tallaba los ojos, se empieza a mover y pues ya sabes que eso es, sus ojitos se le ponen como se le cierran; eso es sueño”. (LE2009)

- **Gestos:** Básicamente son expresiones que pueden ser diferenciados para alguna necesidad en particular.

“Las facciones de su cara son como muy expresivas, te digo, generalmente siempre está durmiendo entonces antes de que empiece a quejarse como que su cara le cambia, como que un poco más seria mas como angustia, como sus cejas se hacen hacia abajo se le encogen un poco las cejas y su boca también”. (AR2609)

“De repente está bien entretenida y deja de hacer lo que está haciendo y luego esta así como cara de pensativa y en ocasiones si hasta puede estar haciendo la cara como de estar pujando”. (CR1809)

Se encontró que esta “manera de comunicación” del infante tiene una intensidad, y una duración. Estas propiedades del lenguaje demuestran el grado de fuerza y la duración con que se manifiesta al expresar alguna necesidad o actividad por ejemplo:

“Cuando está hecha del baño como que reduce un poco el tiempo de cuando esta saltando y no brinca de la manera igual, como que hay algo que la retiene, entonces es así como nos damos cuenta que está hecha del baño”. (AR2609)

“[Los gritos] son más cortos, la forma en que llora cuando está comiendo que cuando está muy cansada”. (CR1809)

Además se encontró que el infante naturalmente en su desarrollo humano va adquiriendo los conocimientos y habilidades necesarias para comunicarse con un lenguaje más sofisticado (e.g., de manera verbal, con señales de las manos).

“Antes se ponía pues latoso así, inquieto, llorón, llorón tranquilo o sea no fuerte el lloriqueo, tranquilo pero como enfadoso [ahora ya no es así]”. (LE2009)

3.3.1.3 Monitoreo de información

La tercer categoría trata sobre el monitoreo de información, se refiere a los aspectos más importantes que consideran los cuidadores para observar y monitorizar acerca del infante (e.g., tipo de llanto, grado de actividad realizada, peso, etc.), para poderles brindar un cuidado y una atención eficiente. De aquí se desprenden las herramientas de monitoreo y las características que toman en cuenta para el cuidado del infante:

- Tipo: Son todas aquellas herramientas tanto electrónicas como no electrónicas que ayudan a los cuidadores a realizar alguna actividad en el cuidado de los infantes.

“Principalmente los celulares los usamos mucho para grabarla cuando hace algo extraño o algo que nos llama la atención ya sea bueno o malo y si tenemos alguna duda, la grabamos y cuando la llevamos con el pediatra se lo mostramos se lo comentamos para que él nos diga que opina”. (AR2609)

“En los primeros dos meses no recurría a la tecnología, lo que hacía era con una libreta apuntaba a qué horas se despertó, a qué horas empezó a comer, a qué horas termino de comer, a qué horas hacia del baño, qué era lo que hacía si era pipis o popis. Todo eso lo apuntaba, era diario, inclusive empecé a agregar de qué color o sea todo, porque apenas estaba conociéndola”. (CR1809)

- Forma: Es el medio en el que se encuentran los tipos de herramientas de monitoreo.

“[Disponer de un dispositivo móvil] para poder estar haciendo otras cosas porque si no, tienes que estar pegada ahí”. (LE2009)

“En su mismo hábitat, ahora sí que como bebé es difícil que le estés poniendo aditamentos, como que accesorios o algo en su cuerpo, se los va a arrancar. Yo creo que sería más bien algo en el ambiente que capturara la información ya sea de movimientos o de sonido”. (CR1809)

A demás se toma en cuenta la información requerida para monitorizar la actividad del infante, se abordan los siguientes temas:

- Patrones de actividades: Son todos aquellos patrones que el infante realiza en cierta actividad o necesidad y que pueden ser administrados por el cuidador.

“Por ejemplo, los horarios de las comidas, y que cantidad fue lo que comió o que fue lo que comió yo creo que eso sería bastante importante y tal vez si durmió, no realmente cuanto durmió sino simplemente si durmió sus siestas en la tarde o no, yo creo que eso sería un poco importante y también que tanta actividad estuvo realizando”. (AR2609)

“Luego buscar tu rutinita para su siesta”. (CR1809)

- Medio: Tipos de información capturada y archivada.

“Que te pudiera capturar todo eso y avisarte de momento, no nada más de manera textual, a lo mejor pudiera tener una foto o un pedacito de video de ese momento, para que no nada más veas ¡a esta llorando!, sino que dijera a mira este momento lloró, así se veía el lugar donde estaba, esta era la temperatura a tal hora, y a lo mejor donde estaba”. (LE2009)

“Para que pueda detectar tal vez algo de video, algo que pudiera ser muy chiquitito tal vez pudiera una sonajita o algo”. (CR1809)

- Características del ambiente: Condiciones de circunstancias físicas de un lugar, que por lo general será el hogar.

“La temperatura del lugar”. (LE2009)

“También la luz le molesta mucho”. (AR2609)

3.3.1.4 Consulta y visualización de información

Por último está la categoría consulta y visualización de la información, que proporciona una serie de parámetros a tomar en cuenta en relación a lo que los cuidadores necesitan saber y de cómo quieren enterarse de las actividades del infante. De esta categoría se desprenden 5 subcategorías:

La primera es acerca del conocimiento que desean los cuidadores adquirir para el correcto cuidado del infante de esta se divide en:

- Tipo: Concierne a la clase de recurso en que se quiere obtener.

“Principalmente la utilizo [una aplicación para dispositivo móvil sobre el cuidado del bebé] cuando estoy con ella la abro y me pongo a ver, como se va actualizando conforme se avance, voy viendo como que ¡ahorita ya tiene 6 meses! mira tiene que empezar a hacer esto o debería estar haciendo esto o por ejemplo ahorita que la acabamos de llevar con el pediatra y nos dijo el peso, entonces lo verifico y digo a si este dato esta en el rango de peso de los de su edad”. (AR2609)

La segunda es la conciencia que deben tener los cuidadores en todas las actividades que realiza el infante, que va desde los patrones de sueño hasta la limpieza. Esta se divide en:

- Reportes: En esta el tipo se enfoca a reflexionar sobre las actividades que el infante realiza y no a los cuidados que debe proveerle.

“No datos como muy específicos sino como para orientarme”. (AR2609)

“Yo creo que algo que si me gustaría es de que fuera lo que fuera yo pudiera ver un reporte de lo que hizo mientras yo no estuve”. (AR2609)

- Forma: Modo de adquirir tanto el conocimiento como la conciencia.

“Yo preferiría a mi punto de vista muy personal que fuera información “on demand”, más bien no que me la este enviando a cada cierto intervalo de tiempo, sino más bien cuando yo quiera que me muestre la información”. (AR2609)

- De contexto: Información que procede del entorno físico o de situación.

“Lo usaría principalmente en la tarde porque en la mañana no tiene como mucho sentido para mí, porque no estoy en la casa, yo creo que principalmente cuando este con ella sería el momento adecuado para tener esa información”. (AR2609)

“Tal vez incluso no debería ser ni una aplicación fija ni móvil, si no podría ser que la niña tuviera con ella porque esa información es relevante para la persona que está cuidando al niño”. (AR2609)

La tercera es la de acceso a la información que se requiere para que no sólo los padres de familia tengan la forma de acceder a la información. Aquí se divide en:

- Uso colaborativo: Diferentes cuidadores pueden tener acceso a la información para compartir experiencias.

“Obviamente la persona que está cuidando en el momento mi niña también debería tener esa información pero no solamente información del momento”. (AR2609)

La cuarta son las sugerencias de información que les gustaría a los cuidadores recibir para mejorar el cuidado y monitoreo del infante, esta se divide en:

- Tecnología: Ideas que sugieren hacer uso de nuevas tecnologías y herramientas computacionales que estén destinadas a coadyuvar al trabajo de los cuidadores.

“Web estaría muy bien, estaría muy bien si, incluso se me ocurre para guardería que no me ha tocado pero pues pudieras verlo desde donde sea”. (LE2009)

- Uso de información: Ideas que sugieren un uso mejor adecuado al tratamiento de la información para facilitar el registro y la visualización.

“Una notificación que simplemente la vez y desaparece, no es como un correo que se queda dentro de tu correo”. (AR2609)

- Notificaciones: Ideas que sugieren hacer uso de la comunicación mediante el uso de la tecnología.

“Una alerta en el teléfono estaría bien, pero no sé cómo, una alerta, a lo mejor como las aplicaciones motoras o las demás aplicación, a lo mejor un mensajito, o ya sea un mensajito de la aplicación o incluso un SMS [refiriéndose a un mensaje de texto]”. (LE2009)

Por último están los problemas que aquejan regularmente a los cuidadores primarios cuando asisten al infante ante alguna actividad o circunstancia en particular, se divide en:

- Lenguaje del infante: Equivocación en la manera de interpretar la comunicación que expresa el infante.

“Primero haber si esta hecho del baño, si está muy caliente, que este bien de temperatura, pues no tiene temperatura, y acababa de comer, entonces estaba descartado lo del hambre y estaba descartado lo del pañal, o sea temperatura estaba bien. De todas maneras te quedaba la dudita”. (LE2009)

3.4 Escenarios de estrategias actuales

Una de las formas en que se puede comprender mejor las estrategias que actualmente siguen los cuidadores es mediante la utilización de escenarios, por tal motivo, y para ejemplificar las prácticas diarias en el cuidado del infante a continuación se describen algunos escenarios de su vida cotidiana.

[Escenario 1] La mamá María es ama de casa, y su rutina diaria involucra hacer de comer, limpiar la casa, y atender a su bebé, Maximiliano. Ha pasado ya 1 hora desde la última vez que María le dio de comer a Maximiliano, sin embargo, con el estrés del día María no recuerda con exactitud, por lo que decide darle de nuevo comida.

[Escenario 2] María escucha llorar a Maximiliano, se prepara y le lleva de comer, sin embargo, el bebé rechaza la comida y no para de llorar. María está confundida, así que lo arrulla en su cama para que se duerma, pero no deja de llorar. Maximiliano continúa llorando hasta que María lo levanta y lo abraza.

[Escenario 3] María lleva a su bebé al pediatra para su chequeo de rutina, el pediatra le pregunta sobre los periodos de sueño que Maximiliano ha tenido en el transcurso de la semana. Sin embargo, María no recuerda con exactitud y le da un periodo de tiempo menor al real.

Los escenarios muestran los problemas más comunes que una madre enfrenta al cuidar a su bebé, principalmente recaen en la falta de una orientación que guíe a un cuidado más certero, además muestran la necesidad de contar con herramientas que les permitan tener un registro del comportamiento del infante a través del tiempo.

3.5 Problemas y estrategias

A continuación se describen los problemas más importantes que afectan a las categorías identificadas en el análisis de afinidad. Actualmente los cuidadores responden a los problemas mediante estrategias que surgen por la costumbre o por las necesidades, sin embargo, pueden no ser óptimas. Una de las maneras en que se puede mejorar es por medio de las estrategias aumentadas (*i.e.*, las mismas estrategias pero utilizando la tecnología y el uso de la computación).

3.5.1 Falta de registro de información estándar

Los cuidadores por las diversas actividades que realizan al momento de estar cuidando al infante no tienen el tiempo suficiente o en ocasiones hay omisiones por olvido para estar registrando la información relevante del infante, así que, los registros no son efectuados principalmente porque no cuentan con los artefactos adecuados para registrarlos, provocando que no se tenga la información a la mano en caso de ser requerida por personas externas (e.g., familiares o pediatras).

“No [tenemos] un historial tal cual, pero si tenemos como que conciencia, tenemos noción de lo que comido, más o menos a qué hora, generalmente siempre tratamos de tener noción, a la hora de la comida como fue la última comida, si se tomo todo el biberón, si no se lo tomó si se comió toda la papilla, si se la comió, en dado caso de que no se haya tomado.” (AR2609-8/4)

“No de ninguna manera [se registra]. Lo que te vas acordando.” (LE2009-12/4)

3.5.2 Falta de alertas al entrar en una zona insegura

Otro problema para los cuidadores es el hecho que no pueda ver a los infantes cuando estén en lugares que pueden ser peligrosos para ellos (e.g., la cocina, el baño, las escaleras) mientras esté haciendo otra actividad y pueda suceder algún accidente. Las zonas inseguras y los objetos que le pueden causar daño al infante los define el cuidador en base a su experiencia y a las condiciones del lugar.

“Algo que a mí me alertara en las situaciones en que se está acercando a una zona insegura o a lo mejor que en vez de estarla viéndola 100% a ella, mejor mientras estoy trabajando yo en mi documento en mi escrito y sin estar viéndola yo a ella, pueda verla un visor en la pantalla para estar haciendo dos cosas a la vez”. (CR1809)

“A lo mejor donde estaba, como para que sepas donde sucedió, en la guardería, con los abuelos o en la casa”. (LE2009)

3.5.3 Problemas en la identificación de necesidades

Los cuidadores tienen problemas a la hora de tener que distinguir las características particulares de una necesidad debido a que requiere de una habilidad que se adquiere a través del tiempo. Reconocer las necesidades del infante puede no ser trivial, en especial cuando apenas se está conociendo al infante.

“A veces es una mezcla de los dos que tiene hambre y tiene sueño”. (AR2609).

“Si de repente tengo la duda, es tratar de dormirla, trato de dormirla y luego que no se pueda dormir, ha entonces quería estar conmigo quería, hay veces que al nada mas abrazarlo ya se le quita, ya deja de llorar”. (CR2609).

3.5.4 Falta de historial del comportamiento del infante

Otro problema es la falta de algún artefacto que les permita tener un historial de las actividades que ha realizado el infante a lo largo del tiempo.

“No [tienen] un historial tal cual, pero si tenemos conciencia, tenemos noción de lo que acomido, más o menos a qué hora, generalmente siempre tratamos de tener noción, a la hora de la comida como fue la última comida, si se tomo todo el biberón, si no se lo tomó si se comió toda la papilla, si se la comió, en dado caso de que no se haya tomado”. (AR2609)

“Cuando lo dejas encargado, entonces estas con el pendiente, ¡híjole ya le habrán cambiado el pañal! o siempre llegas, ¿hizo del baño?, ¿le cambiaron el pañal? y así esas cosas”. (LE2009)

3.6 Conclusiones y resumen

Las técnicas de teoría fundamentada y diseño contextual rápido sirvieron para identificar las variables contextuales, sonidos y movimientos que son relevantes para anticipar las necesidades del infante.

El resultado del análisis de datos muestra 4 categorías fundamentales: cuidados del infante, lenguaje del infante, monitoreo de información y, consulta y visualización de información. Los problemas más importantes que afectan a las categorías son: falta de registro de información estándar, falta de alertas al entrar en una zona insegura, problemas en la identificación de necesidades y, falta de historial del comportamiento del infante.

La tabla 4 muestra un resumen de las prácticas que los cuidadores hacen para contrarrestar los problemas que se les presentan al cuidar el infante.

Tabla 4. Resumen de las prácticas de los informantes.

Problemas que se enfrentan durante la identificación de necesidades del infante	Estrategias y prácticas para enfrentar esos problemas
Falta de registro de información estándar (e.g., horario de comida).	<p>Actualmente los padres de familia anotan la información relevante (e.g., horario de comida, horario de sueño) en papel o en algún celular.</p> <p><i>“En los primeros dos meses no recurría a la tecnología, lo que hacía era con una libreta apuntaba a que horas se despertó, a qué horas empezó a comer, a qué horas termino de comer, a qué horas hacia del baño, qué era lo que hacía si era pipis o popis. Todo eso lo apuntaba, era diario, incluso empecé a agregar de qué color o sea todo, porque apenas estaba conociéndola”.</i> (CR1809)</p>
Falta de alertas al entrar en una zona insegura (e.g., en la cocina).	<p>Actualmente los padres de familia están al pendiente en todo momento de su bebé.</p> <p><i>“Para poder estar haciendo otras cosas porque si no, tienes que estar pegada ahí”.</i> (LE2009)</p>
Problemas en la identificación de necesidades (e.g., sueño y hambre).	<p>Actualmente los padres de familia dan diferentes soluciones a prueba y error a una necesidad hasta que la satisfacen.</p> <p><i>“Primero haber si esta hecho del baño, si está muy caliente, que este bien de temperatura, pues no tiene temperatura, y acababa de comer, entonces estaba descartado lo del hambre y estaba descartado lo del pañal, o sea temperatura estaba bien. De todas maneras te quedaba la dudita”.</i> (LE2009)</p> <p><i>“Cuando no le atinaba, pues intentas otra”.</i> (LE2009)</p>
Falta de historial del comportamiento del infante (e.g., pediatra).	<p>Actualmente los padres de familia recurren al uso de su memoria para recordar información relevante de eventos pasados.</p> <p><i>“No un historial tal cual, pero si tenemos como que</i></p>

	<p><i>conciencia, tenemos noción de lo que comido, más o menos a qué hora, generalmente siempre tratamos de tener noción, a la hora de la comida como fue la última comida, si se tomo todo el biberón, si no se lo tomó si se comió toda la papilla, si se la comió, en dado caso de que no se haya tomado". (AR2609)</i></p> <p><i>"No de ninguna manera. Lo que te vas acordando". (LE2009)</i></p>
--	--

Capítulo 4. Diseño e implementación

4.1 Introducción

En este capítulo se reporta el proceso que se siguió para el diseño e implementación del sistema *4Care Monitor*. Se describen los requerimientos y principios de diseño que se obtuvieron del entendimiento inicial de *4Care Monitor* (capítulo 3). Después se describe: el diseño de la interfaz gráfica, la arquitectura del sistema y los algoritmos de reconocimiento de movimiento y llanto. Se concluye con un escenario ejemplificando el uso del sistema.

4.2 Métodos de diseño

Para diseñar la herramienta que ayude a los padres de familia en el cuidado de los infantes, se siguieron técnicas de teoría fundamentada (Strauss, A., and Corbin, 1994) y diseño contextual rápido (Holtzblatt et al., 2004). Durante 2 meses, se utilizaron los resultados del estudio para diseñar el prototipo y se elaboraron un conjunto de escenarios de diseño para crear los casos de uso. Se realizaron 2 sesiones de diseño participativo para discutir el prototipo y recibir comentarios sobre el diseño. Las sesiones de diseño participativo incluyeron dos diseñadoras gráficas y una experta en diseño de sistemas interactivos. Se utilizaron los resultados de la sesión participativa de diseño para mejorar el prototipo.

4.3 Requerimientos y principios de diseño

A continuación se muestran los principios de diseño a los problemas identificados en la etapa del análisis de datos.

4.3.1 Proporcionar registros de información relevante

Nuestros informantes expresaron la necesidad de registrar la información relevante que los padres consideran importante (*e.g.*, horas de sueño, comidas, peso, etc.), esta actividad requiere de tiempo, y en algunas ocasiones se omite por olvido. Para minimizar el tiempo y evitar la omisión del registro de información, la herramienta de captura y acceso *4Care Monitor* debe de apoyar en la automatización de la captura de información. En particular se debe de automatizar la siguiente información:

- a) Horarios de sueño y de comida: Registrar que cantidad de horas durmió y cuántas le quedan por dormir, y lo mismo para el horario de comida.
- b) Movimientos¹⁰ que realiza el infante: Trost (Trost, Fees, Haar, Murray, & Crowe, 2012) identificó una escala para medir la actividad física de infantes de 2 años de edad, la escala contempla el sedentarismo, la actividad ligera, y la actividad moderada a vigorosa. Sin embargo, en nuestro estudio se estableció el uso de 5 divisiones para diferenciar la intensidad de movimiento, estas divisiones son: bajo, medio bajo, medio, medio alto, y alto. Con el uso de la escala se puede medir cuando el infante estaba más tranquilo o cuando estaba haciendo mucha actividad. (*i.e.*, registrar la magnitud del movimiento en tiempo real).
- c) Sonidos realizados por el infante: Registrar los sonidos de interés que realiza el infante (*i.e.*, diferenciados por el llanto y por sonidos particulares).
- d) Emociones y estado de ánimos del infante: Registrar las emociones y el estado de ánimo del infante, puesto que como un ser humano, está influenciado por el entorno y por los sentimientos que le acompañan, además de adquirir conocimiento, desarrollo, y habilidades a través del tiempo.

¹⁰ Un movimiento puede considerarse como el movimiento corporal que realiza un infante en alguna actividad física.

4.3.2 Proporcionar alertas al entrar en una zona insegura

Nuestros informantes además expresaron la necesidad de conocer el estado del ambiente al interior del hogar, en especial aquellas zonas en las que los padres consideren como inseguras para el infante, dependiendo de las condiciones en las que se encuentra y de las actividades que realicen (*e.g.*, al estar cercas de algún objeto de la cocina que pueda tomar y que pueda caérsele sobre él). El sistema de captura y acceso *4Care Monitor* debe monitorizar el estado del ambiente para permitir al cuidador tener alertas automáticas que le avisen cuando infante entra en una zona insegura.

4.3.3 Ayudar en la identificación de necesidades

Así mismo nuestros informantes expresaron la necesidad de identificar las necesidades del infante que conlleven a un mejoramiento en la atención y el cuidado del infante. La herramienta de captura y acceso *4Care Monitor* debe de apoyar en tal identificación, en particular se deben de identificar las necesidades en base a la siguiente información:

- a) Identificar patrones de sonido y movimientos: Los patrones (tanto de sonidos como de movimientos) permitirán utilizarse como muestra para reconocer las características que son particulares a cada necesidad (*e.g.*, sueño, incomodidad), de esta manera se pueden diferenciar unos de otros.
- b) Mejoramiento constante del monitoreo. Realizar un “sistema de recompensas” para que el padre de familia mejore un monitoreo constante, de esta forma se logra tener enganchado al padre de familia al momento de registrar algún evento interesante (*e.g.*, llanto), además existirá una interacción entre él y la herramienta *4Care Monitor*, de esta manera podrá tener conciencia de la relación entre los patrones y las necesidades del infante.

4.3.4 Proporcionar un historial de actividades relevantes

Del mismo modo nuestros informantes expresaron la necesidad de visualizar que tanta actividad tuvo el infante a lo largo del día, con el objeto de evaluar el comportamiento y la evolución del infante. El historial dependerá de lo establecido por los cuidadores y del criterio que encuentren como relevantes. La herramienta de captura y acceso *4Care Monitor* debe de apoyar a los padres de familia a consultar este historial, en particular se deben de mostrar la siguiente información:

- a) Proporcionar información del historial de actividades: Realizar reportes de las actividades que el infante realice (*e.g.*, tareas de pendientes), además estos reportes dependerán del contexto en que se encuentre el padre (*e.g.*, por petición del usuario “on demand”, por proximidad, por la hora del día, por la localización, y por el rol del usuario).
- b) Proporcionar información de soporte para la toma de decisiones: Mostrar información útil (*e.g.*, consejos) que les ayude a cuidar de una mejor manera al infante.
- c) Proporcionar el intercambio de información para hacer un trabajo colaborativo: Proveer servicios de acceso a la información a terceras personas (*e.g.*, pediatras, abuelos).

Como se describió anteriormente cada uno de los principios de diseño cumplen una función específica que coadyuvan a los padres de familia. Sin embargo, en esta tesis se van a abordar los siguientes principios de diseño:

- Automatizar la información de captura (sonidos y movimientos).
- Enganchar a los padres de familia en la captura “sistema de recompensas”.
- Proporcionar información del historial de actividades.

4.4 Diseño del sistema

El diseño de la herramienta de captura y acceso llamada *4Care Monitor* tiene como objetivo ser amigable e intuitiva para que los padres de familia puedan utilizarla sin complicaciones. Está constituida por 4 pantallas (monitor, notas, historial, y configuración) las cuales se describen a continuación:

La figura 8 muestra la pantalla principal, en donde se monitorea el sonido y movimiento al mismo tiempo que se va graficando. Las pestañas corresponden a cada una de las pantallas del sistema (monitor, notas, historial, y configuración), el área de gráfico es donde se grafica el movimiento y el sonido. También se muestra una pantalla que aparece de pronto cuando se detecta un llanto; que es donde se muestran las necesidades del infante. El sistema de recompensas estimula al usuario para que siga usando el sistema. Las notificaciones muestran avisos importantes para el usuario, los controles son botones para hacer uso del monitor, y además un panel que se utiliza para incorporar componentes o aplicaciones independientes al monitor (en inglés widgets). La figura 9 describe el funcionamiento de esta pantalla.



Figura 8. Pantalla monitor, donde se monitorea el movimiento y el sonido del infante.

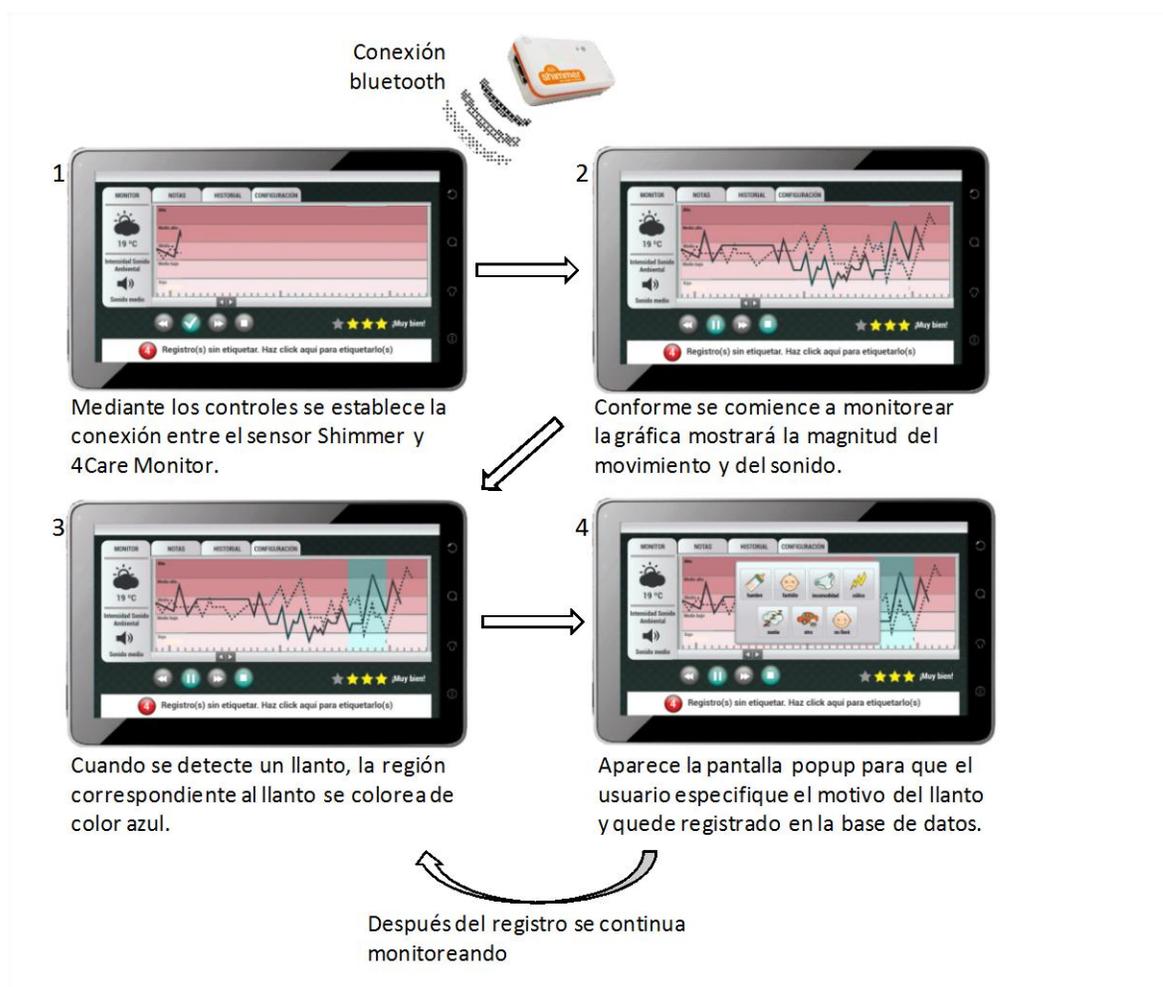


Figura 9. Funcionamiento de la pantalla Monitor.

En la pantalla de notas el usuario puede escribir las notas en el cuadro de texto y guardarlas mediante los controles para que sea desplegada en la lista de notas (ver figura 10), Esta pantalla es minimalista y permite al usuario guardar y visualizar de manera rápida las notas que asocie a un evento de interés.



Figura 10. Pantalla Notas.

La figura 11 muestra la pantalla Historial, que permite al usuario visualizar los rangos de datos registrados previos al llanto de acuerdo a cada necesidad, además se puede seleccionar por un periodo de tiempo: diario, semanal y mensual. El sistema grafica los datos en el área de gráfico.

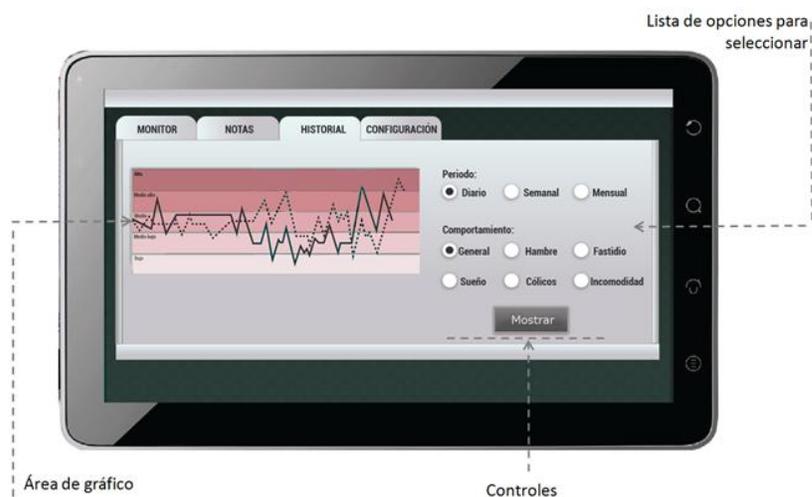


Figura 11. Pantalla Historial.

La figura 12 muestra la pantalla Configuración, la cual se utiliza para establecer el nombre de usuario y del infante así como la relación entre ellos (*e.g.*, papá, mamá, abuela). También se puede seleccionar el periodo de tiempo para realizar el respaldo de información. Además se puede saber cuándo se hizo el último respaldo.

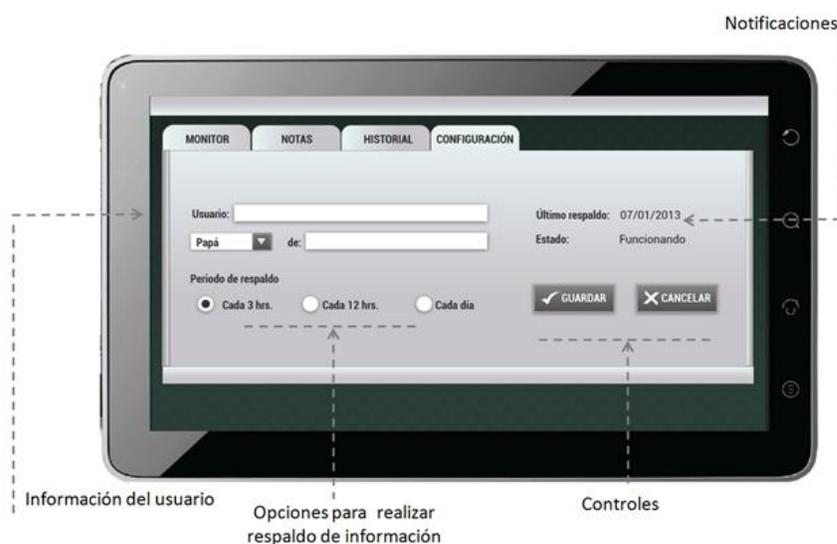


Figura 12 Pantalla Configuración.

Para ejemplificar como el usuario puede utilizar el sistema aquí se describe un escenario de uso.

4.5 Escenario de uso

María cambia al bebé Emiliano que tiene 6 meses de edad con ropa de invierno para irse a dormir. María le coloca una camiseta de manga larga y en su pie un sensor de movimiento (*e.g.*, acelerómetro marca Shimmer) y lo sincroniza a la aplicación *4Care Monitor* que tiene en su tableta digital que esta junto a su cuna. *4Care Monitor* automáticamente monitorea los movimientos que realiza Emiliano con las manos. Además monitorea el sonido del medio ambiente.

Cuando Emiliano tiene sueño comienza a tallarse los ojos con sus manitas. Sin embargo, María no se percata que tiene sueño y comienza a llorar. El sistema reconoce el llanto de manera automática y registra la actividad del sensor de movimiento y de sonidos previos al llanto, así como toda la información contextual que se dio en ese momento (*e.g.*, hora, lugar, rol del cuidador). *4Care Monitor* a su vez, notifica a María mediante una melodía que su bebé está llorando, cuando acude a atenderlo, le solicita que indique la

razón por el cual Emiliano lloró (e.g., sueño), para que el sistema etiquete lo acontecido y lo guarde en la base de datos.

4.6 Implementación del sistema *4Care Monitor*

4.6.1 Arquitectura general

La figura 13 muestra el diagrama de emplazamiento que contiene los componentes de software que conforman la herramienta de captura y acceso: *4Care Monitor*. A continuación se describirá cada uno de ellos:

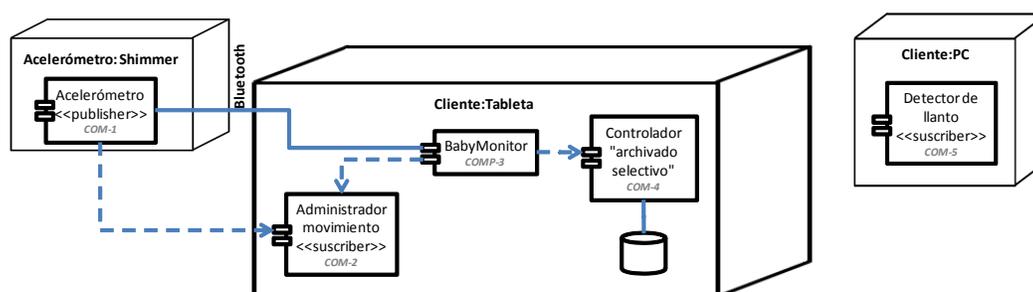


Figura 13. Arquitectura general del sistema *4Care Monitor*.

4.6.2 Nodo acelerómetro

Este componente se encarga de monitorizar los movimientos del bebé por medio de un acelerómetro¹¹. En ésta tesis se usa un sensor Shimmer 2R (Shimmer, 2011) como lo muestra la figura 14. Las características del sensor más relevantes para este proyecto es que integra un acelerómetro de tres ejes (x, y, z) y que se conecta vía bluetooth a la tableta.



Figura 14 Sensor Shimmer.

¹¹ El acelerómetro es un instrumento que sirve para medir el cambio en la aceleración con respecto al tiempo en uno, dos o tres ejes cartesianos.

El sensor Shimmer transmite las mediciones de aceleración al administrador de movimientos quien las procesa. Estas mediciones también se les conoce como “muestras”. La cantidad de muestras que el sensor manda al administrador de movimientos es de 10 veces por segundo.

4.6.3 Nodo tableta

El nodo tableta ejecuta el componente BabyMonitor instalado en una tableta Asus (Asus, n.d.). La aplicación contiene tres componentes que a continuación se describen:

4.6.3.1 Administrador de movimientos

Este subsistema tiene como objetivo capturar las muestras del sensor, y procesarlas. Las muestras se capturan haciendo paridad con el sensor. Luego, es necesario calibrar las muestras y a partir de las muestras calibradas, se les pueda remover el efecto gravedad. El procedimiento que se sigue para realizar estas tareas se describe a continuación:

1. Establecimiento de la conexión y la captura de las muestras. La conexión se establece vía bluetooth entre el acelerómetro y la aplicación haciendo paridad, es decir, que ambos dispositivos se puedan comunicar. De este modo, el sensor está habilitado para enviar las muestras a este componente a través de la comunicación existente.
2. Procesamiento de las muestras. Una vez recibidas las muestras, es necesario aplicar el método descrito por el manual de calibración del sensor Shimmer (Shimmer, 2011) para calibrar las muestras crudas (*i.e.*, las muestras recibidas directamente del sensor). Esto se logra mediante la fórmula siguiente:

$$C = R^{-1} * K^{-1} * (u - b) \quad (1)$$

En donde: C = Vector aceleración calibrado de dimensión 3×1 ,
 R = Matriz de alineación de dimensión 3×3 ,
 K = Matriz de sensibilidad de dimensión 3×3 ,
 u = Vector muestras sin calibrar de dimensión 3×1 ,
 b = Vector de offset de dimensión 3×1 .

Tanto las matrices como el vector b son constantes puesto que nunca se modifican en tiempo de ejecución, además las matrices son invertibles. Lo único que cambia es el vector u que es el que contiene los datos crudos que se recibe del sensor (*i.e.*, x , y , z). Los valores que contienen las matrices R , K , y el vector b son valores que son proporcionados por el fabricante (Shimmer).

La matriz de alineación R sirve para definir el nombre que se le dará a los ejes, así como la de definir la dirección positiva de los mismos. La figura 15 muestra los nombres, y la dirección que tienen los ejes; mismos que corresponden a la configuración por defecto.

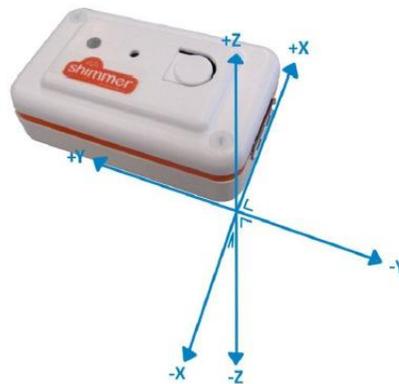


Figura 15. Coordenadas de los ejes x, y, z del sensor Shimmer

La matriz de sensibilidad K define la capacidad que tiene el sensor para detectar pequeños cambios en la aceleración. El vector muestras sin calibrar u son los datos

crudos que recibimos del sensor de los tres ejes. El vector b lo definen como un vector de offset (Shimmer, 2011. Pag. 23)

3. Eliminación de la gravedad. Como la gravedad siempre influye en las mediciones de la aceleración, es necesario restar el valor de la gravedad (*i.e.*, 9.81 m/s^2) en todas las muestras proporcionadas por el sensor. Como es confirmado en la documentación de Android (Android, 2013) y en el trabajo de tesis titulado “Diseño de componentes para el análisis del comportamiento y contexto de poblaciones de usuarios de teléfonos móviles” (Martinez, 2013). En esta documentación también se expone una técnica para remover la fuerza de gravedad, a continuación se presenta el pseudocódigo para tal fin (figura 16):

```
final float alpha = 0.8;

gravity[0] = alpha * gravity[0] + (1 - alpha) * event.values[0];
gravity[1] = alpha * gravity[1] + (1 - alpha) * event.values[1];
gravity[2] = alpha * gravity[2] + (1 - alpha) * event.values[2];

linear_acceleration[0] = event.values[0] - gravity[0];
linear_acceleration[1] = event.values[1] - gravity[1];
linear_acceleration[2] = event.values[2] - gravity[2];
```

Figura 16. Pseudocódigo para remover la fuerza de gravedad de una muestra del sensor. Fuente: ("Android Developer: Sensor Event," 2013, p.1).

Inicialmente las variables *gravity* y *linear_acceleration* contienen valores en cero. El vector variable de tres posiciones llamado *event.values* contiene los valores del vector aceleración calibrado C (calculado anteriormente por la fórmula 1) según la posición del índice al que este apuntando (*e.g.*, *event.values[0]*). Este pseudocódigo se ejecuta cada vez que se recibe una nueva muestra, con los datos calibrados, por lo que *gravity* y *linear_acceleration* evolucionan constantemente. Aquí se quiere remover la gravedad de todas las lecturas, por ende, la magnitud de la gravedad en cualquiera de los tres ejes depende de la lectura anterior (sin la gravedad). El resultado de las muestras a las que se les removió la fuerza de gravedad de cada uno de los ejes es almacenada en el vector de tres posiciones *linear_acceleration*.

4. Calculamos la magnitud de movimiento; Una vez que se tiene el vector *linear acceleration* (calculado en el punto anterior), se procede a computar la magnitud de movimiento. Para calcularla, primero se asigna a x el contenido *linear acceleration*[0], a y el contenido de *linear acceleration*[1], y a z el contenido de *linear acceleration*[2]. Luego se calcula la raíz cuadrática calculando la magnitud ejercida por los tres ejes (2).

$$M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2)$$

En donde: M = Magnitud de movimiento.

x, y, z = Aceleración ejercida en cada eje. Se toman del vector *linear acceleration* según en la posición que indique el índice (e.g., a la x le corresponde el valor que tiene *linear acceleration*[0] y así sucesivamente).

5. Se guarda en la base de datos cada una de las muestras (x, y, z) que se utilizaron para calcular la magnitud de movimiento, así como su resultado, y su correspondiente etiqueta de tiempo (timeStamp).
6. Se calcula el recuento de puntos en un tiempo determinado: Conceptualmente un punto es la magnitud de movimiento en un instante de tiempo t ; por lo que si en un segundo se reciben 10 muestras, se calculará la magnitud para cada una y se tendrá 10 puntos en 1 segundo.

Como necesitamos saber el promedio de las magnitudes en un tiempo t , el recuento de puntos se calcula mediante la media aritmética de las magnitudes de una época (i.e., en un segundo, es decir, de 10 muestras).

7. Se determina el nivel de movimiento en el que se encuentra el recuento de puntos. La manera en que se hace es identificar el nivel que corresponde de acuerdo al recuento de puntos calculado del punto anterior. El nivel está determinado por la escala que utiliza *4Care Monitor* y que tiene como referencia la realizada por Trost (Trost et al., 2012).

Cabe señalar que la escala utilizada por Trost está referenciada por el recuento de puntos por minuto (CPM), es decir, que la media aritmética tomará los valores que resulten dentro de un minuto. En esta tesis se hace un recuento de puntos por segundo. Entonces lo que tenemos que hacer es extrapolar para alcanzar el minuto y de este modo poder compararlo con la escala utilizada por Trost.

Para utilizar la escala, simplemente analizamos en donde cae el CPM y extraemos el nivel de intensidad de movimiento. Por ejemplo si el CPM da como resultado 675, el nivel de intensidad de movimiento será de tres (alto) debido a que cae en el rango de 491 – 750.

La escala usada por *4Care Monitor* (tabla 5) está diseñada para medir la actividad física en infantes menores a 1 año de edad, la cual se limita a hacer movimientos elementales (*e.g.*, alcanzar y agarrar objetos, gatear). Como Trost determinó una escala para infantes de dos años de edad, se puede saber que la diferencia en ésta edad es causada por el incremento de la actividad física en el infante, debido al aprendizaje en las habilidades locomotoras (*e.g.*, correr, saltar, bailar) (Cliff, Reilly, & Okely, 2009).

Tabla 5. Diferencias entre la escala utilizada por *4Care Monitor* y la utilizada por Trost.

Nivel	Escala	CPM (4Care Monitor)	Nivel	Escala	CPM (Trost et al)
Bajo	1	0 – 200	Sedentaria	1	0 – 195
Medio bajo	2	201 – 490	Ligera	2	196 – 1672
Alto	3	491 – 750	Moderada a	3	1673 – ∞
Medio alto	4	751 – 1049	–	–	–
Alto	5	1050 – ∞	–	–	–

8. Se grafica el nivel de movimiento. Dado que cada época es siempre de un segundo, podemos formar un punto cartesiano (x,y) para desplegarlo en la gráfica. El punto (x,y) se forma de la siguiente manera: *x* es la época donde se calcula el recuento de puntos (cada segundo), *y* es el nivel de intensidad de movimiento.

4.6.3.2 BabyMonitor

El componente *BabyMonitor* es el responsable de graficar el nivel de sonido ambiental para que sea visualizado por el usuario. Además llama al proceso de archivado selectivo cuando se detecta un llanto. Para lograr lo anterior, el componente *BabyMonitor* tiene las siguientes funciones:

- 1) Crear un hilo independiente que sirve para la captura y el procesamiento de audio. Se inicia capturando el sonido por medio de buffers de 1024 bytes.
- 2) Graficar el nivel de sonido. Mediante el algoritmo de sonido (Rincon, Beltran, Tentori, Favela, & Chavez, 2013) (ver punto 4.6.4 Detector de llanto) pudimos calibrar los niveles bajos y altos de la intensidad del sonido. Con la finalidad de formar una tabla de correspondencia (tabla 6) que nos permita comparar el sonido recibido de la tableta y ubicarlo en el nivel que le corresponda. Por ejemplo, si la intensidad de sonido es de 45 por ciento, lo ubicaremos en el nivel medio bajo.

Tabla 6. Escala de la relación entre el porcentaje de la intensidad de sonido capturado y el nivel correspondiente.

Nivel	Escala	Porcentaje
Bajo	1	<= 20%
Medio bajo	2	<= 40%
Alto	3	<= 60%
Medio alto	4	<= 80%
Alto	5	<= 100%

- 3) Graficar el punto en que se encuentra el nivel de intensidad del sonido.
- 4) Llamar al Controlador “Archivado selectivo” (descrito en el siguiente punto) para que efectúe el proceso de etiquetado selectivo cuando se detecte un llanto.

4.6.3.3 Controlador “archivado selectivo”

El componente Controlador “archivado selectivo” permite guardar en el gestor de base de datos SQLite los fragmentos de datos más relevantes previos al llanto, esta información es la intensidad del movimiento y del sonido. Este proceso se hace mediante el algoritmo descrito a continuación (ver figura 15).

Primero se crea una ventana con una longitud de tiempo t (i.e., 15 minutos) y se etiqueta como “ventana activa”. Si no se detecta llanto al llegar al tiempo t , se crea otra ventana con la misma longitud y recibe la etiqueta de “ventana activa”. Si se detecta llanto se crea un bloque de la mitad del tamaño de la ventana (bloque = tiempo $t/2$) previo a la detección del llanto y se busca el punto más sobresaliente del bloque. Se archiva en la base de datos el fragmento del bloque entre el punto más sobresaliente y el punto en que se detectó el llanto. Se eliminan los datos que no se archivaron en cada ventana.

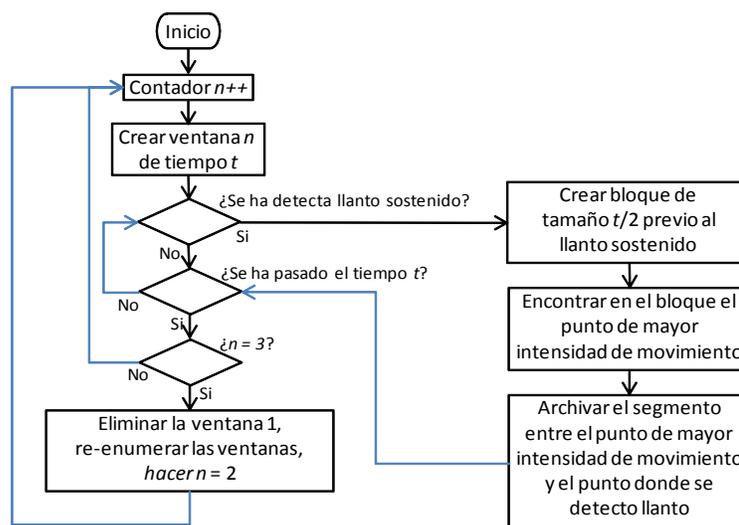


Figura 17. Algoritmo para el archivado selectivo.

4.6.4 Detector de llanto

El componente *detector de llanto* está montado en una computadora de escritorio. Básicamente es responsable de detectar el llanto sostenido¹². Para la detección de llanto

¹² Definimos como llanto sostenido a 10 segundos continuos de llanto interrumpido.

utilizamos el algoritmo MEL-MBSES implementado por la estudiante de doctorado Jessica Beltrán y propuesto en (Rincon et al., 2013). Este algoritmo recibe como entrada segmentos de audio y como respuesta indica si dichos segmentos de audio son llanto sostenido. Este algoritmo se integró como interface de software con el sistema 4CareMonitor, donde únicamente se reescribió el código necesario para realizar las consultas a este algoritmo cuando 4CareMonitor lo requiere.

4.7 Conclusiones

El proceso de diseño sirvió para sustentar los requisitos y principios de diseño, los cuales permitieron desarrollar el sistema *4Care Monitor*. Se analizó mediante las técnicas de teoría fundamentada y de diseño contextual rápido las pantallas y funcionalidades que debe contener el sistema. Se participó activamente con diseñadoras para dar retroalimentación al diseño.

Además se elaboró un algoritmo para la captura y el procesamiento de las muestras del sensor Shimmer para el sistema operativo Android. Se usó un algoritmo llamado MEL-MBSES que toma la información contextual (llanto) para realizar de manera automática el archivado selectivo. Esto lo hace mediante la detección de llanto. En el capítulo siguiente se describirá la evaluación completa realizada al sistema *4Care Monitor*

Capítulo 5. Evaluación del sistema 4Care Monitor

5.1 Introducción

En este capítulo se reporta un estudio en sitio para evaluar del sistema *4Care Monitor* en términos de uso y de la efectividad de los algoritmos propuestos. Además se describen los métodos de evaluación que se siguieron para realizar el estudio. Después se describe el análisis de resultados de la evaluación.

5.2 Métodos de evaluación

La evaluación consta de tres etapas (ver figura 19): La etapa de *Preparación de la evaluación* en la cual se revisan los aspectos de instalación y se calibran los algoritmos. La etapa de *Evaluación de desempeño en laboratorio* que se hace para comprobar si el algoritmo de detección de llanto sostenido tiene un adecuado porcentaje de efectividad. Por último la etapa de *Estudio en sitio* que sirve para recolectar información tanto cualitativa como cuantitativa del uso del sistema en un escenario real. A continuación se describirá cada etapa.

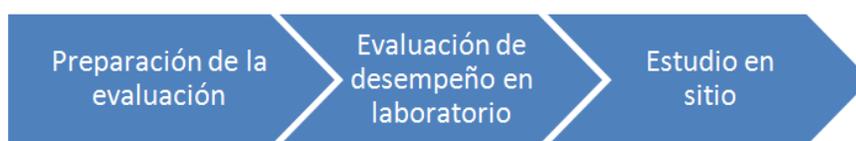


Figura 18. Etapas del proceso de evaluación.

5.2.1 Preparación de la evaluación

La preparación de la evaluación involucró la organización, (ver figura 20 que muestra las actividades generales y su duración) la recolección de clips de audio para hacer el entrenamiento del algoritmo de sonido, la calibración para medir los niveles bajos y altos

de la intensidad del sonido, y los aspectos de instalación de los aparatos a utilizar (*i.e.*, tableta y sensor de movimiento).

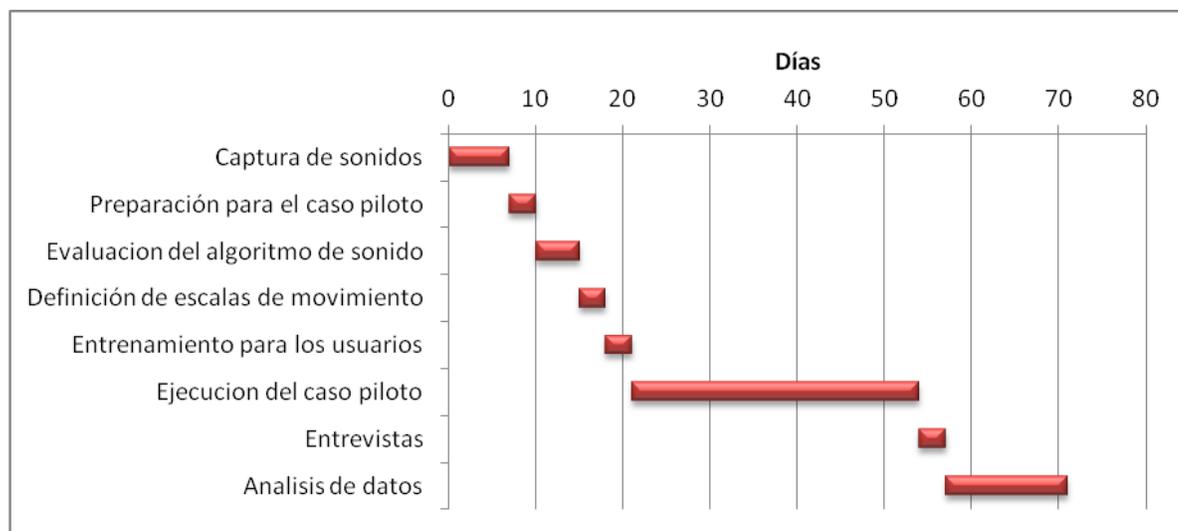


Figura 19. Diagrama que indica el tiempo que nos llevo la realización de las actividades de la preparación del estudio.

Para realizar el entrenamiento del algoritmo y que distinguiera cuáles sonidos corresponden a llanto infantil y cuáles no, se descargaron de Internet¹³ 3000 sonidos de medio segundo. Los sonidos son muestras de 44100Hz a 16 bits: 1000 de estos sonidos corresponden al llanto infantil, 1000 son silencio y los 1000 restantes pertenecen a sonidos ambientales sin incluir llanto. Con esta base de datos se uso el 85% como datos de entrenamiento y se uso el 15% para crear datos de prueba de sonidos de llanto de medio segundo.

Adicionalmente, se descargaron¹⁴ ocho audios de aproximadamente entre 30-90 segundos y se etiquetaron cada 30 segundos cuando hubiera llanto sostenido o cuando no hubiera el llanto. Estos clips de audio son de una variedad de bebés y con diferentes condiciones de captura acercándose a escenarios realistas.

¹³ Los sonidos están permitidos para uso personal, y fueron tomados de las páginas <http://www.grsites.com/archive/sounds/>, <http://www.soundjay.com/>, <http://www.youtube.com/>.

¹⁴ Los audios se descargaron de Youtube, <http://www.youtube.com/>

Para los aspectos de instalación de la tableta y el sensor, nuestro principal punto de control es la distancia entre el sensor y la tableta. La distancia no debe sobrepasar los 5 metros entre ellos. Esto se debe a que la comunicación por bluetooth podría perderse por estar fuera del alcance de comunicación. Por lo que la tableta se debe colocar en un lugar que esté cerca del bebé, ya sea en su cuna, en la silla de estar, o en cualquier otro lugar que permita una comunicación sin interrupciones.

5.3 Evaluación de desempeño en laboratorio

Para evaluar que tan factible es nuestra herramienta de captura y acceso, primero hemos probado cuando el algoritmo de detección de llanto es acertado.

Se experimentó¹⁵ con la extracción de características propuestas en esta tesis y con la de línea base (MFCC). El modelo de clasificación de llanto se evaluó sobre la base de datos de prueba de medio segundo. Posteriormente se clasificaron los ocho audios que fueron etiquetados con el algoritmo propuesto (MEL-MBSES).

Para realizar las pruebas de rendimiento del algoritmo se utilizaron las fórmulas de precisión y de sensibilidad (*recall*) mostradas a continuación (fórmulas 3 y 4 respectivamente). Los términos *positivos* y *negativos* se refieren a la predicción que hace el clasificador y los términos *verdaderos* y *falsos* se refieren a la predicción que corresponde a un juicio externo, por ejemplo al juicio por medio de la observación.

$$\text{Precisión} = \frac{\text{verdaderos positivos}}{\text{verdaderos positivos} + \text{falsos positivos}} \quad (3)$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Verdaderos positivos}}{\text{verdaderos positivos} + \text{falsos negativos}} \quad (4)$$

¹⁵ Se utilizó una computadora modelo Toshiba Satellite p855, con un procesador Intel Core i7 2.3 GHz.

5.4 Resultados de la evaluación de desempeño en laboratorio

Los resultados indican que el algoritmo utilizado MEL-MBSES tiene un mejor desempeño bajo escenarios ruidosos y condiciones realistas (ver tabla 7). En este caso, el 100% de la precisión nos dice que el sistema no hizo ningún error cuando se clasificaron como llanto sostenido, pero en sensibilidad (*recall*) se tuvo un 90%, lo que nos indica que una instancia no se identificó.

Si los parámetros se ajustan se afecta tanto la precisión como en sensibilidad como regla general, el incremento de una implica que decrezca la otra. Para balancear las dos mediciones se necesitan entradas adicionales *i.e.*, para saber si es más importante para la aplicación, guardar todos los eventos o reaccionar solo a ocurrencias fiables.

Tabla 7. Resultados de desempeño.

	MFCC		MEL-MBSES	
	Precisión (%)	Sensibilidad (%)	Precisión (%)	Sensibilidad (%)
Pruebas de datos de medio segundo	97.99	98	98.01	98
Llanto sostenido	77	70	100	90

Los resultados obtenidos de la prueba en el laboratorio indican que se puede utilizar el algoritmo MEL-MBSES para el sistema *4Care Monitor*. Los resultados de la prueba en laboratorio indican que el llanto sostenido se puede detectar de manera adecuada, por lo que estamos en condiciones de pasar a la siguiente etapa.

Las condiciones realistas en el estudio en sitio quizás no sean igual a las probadas en esta prueba, ya que puede haber más variables contextuales que afecten al resultado, *e.g.* el número de personas que hablan dentro de la habitación del bebé y el ruido que producen, la distancia de separación que hay entre el bebé y el micrófono que usa el sistema, el tipo de

micrófono, la frecuencia de muestreo que se utiliza, entre otras. Lo que puede provocar que la precisión del algoritmo se vea afectada negativamente, haciendo que sea menor del 98 % al igual que la sensibilidad (*recall*). Se requiere hacer pruebas de robustez al algoritmo para que se evalúe como varía la precisión a medida que incrementa el ruido. Además dado que el objetivo de esta tesis era evaluar el uso del mecanismo de archivado selectivo en herramientas de captura y acceso, más que la construcción de un algoritmo de detección de llanto lo cual está fuera del alcance de esta tesis, se decidió controlar estas variaciones asociadas al uso del algoritmo de detección de llanto, y enfocar la evaluación en la usabilidad, experiencia de uso y desempeño del mecanismo de archivado selectivo del sistema 4CareMonitor. Por esta razón, se optó por utilizar la técnica de “mago de oz” (*wizard of Oz*), comúnmente utilizada en evaluaciones de cómputo ubicuo donde el algoritmo agrega otras complejidades más allá de las existentes en el uso de aplicaciones conscientes del contexto en escenarios reales.

La técnica *wizard of Oz* consiste en realizar una “simulación” que permite a un usuario de apoyo realizar alguna funcionalidad del sistema controlando una interface. Para el caso del sistema *4Care Monitor*, la interface que actúa como *wizard of Oz* es un botón situado en la pantalla “monitor”. Cuando el usuario escucha llanto debe presionar manualmente el botón para indicarle al sistema que hay llanto. Una vez que el usuario indica que existe llanto, el sistema realiza el archivado selectivo como si se detectara por medio del algoritmo de detección de llanto.

La desventaja de utilizar *wizard of Oz* se presenta al realizar el estudio en sitio, debido a que se restringe una condición realista del estudio; el momento real en el que el bebé llora. Lo que implica que: (1) se descartan los sonidos y movimientos que ocurrieron entre el momento real en el que el bebé lloró y el momento en el que el usuario presiona el botón. (2) en el estudio en sitio no va a haber ningún error de detección de llanto, debido a que el usuario indica al sistema cada vez que haya llanto. (3) el usuario tenga que dirigirse a la tableta para presionar el botón, dándole una carga de trabajo extra al momento de atender al bebé.

5.5 Estudio en sitio

La evaluación en sitio involucró el entrenamiento en el uso de *4Care Monitor*, la calibración del sensor de movimiento, la realización de entrevistas de seguimiento (n = 4) y su análisis (*i.e.*, teoría fundamentada). Esto se hace analizando las respuestas del usuario párrafo por párrafo para extraer las respuestas a las preguntas realizadas. Además se hizo la aplicación de un cuestionario de salida con el que se retira el sistema.

5.5.1 Reclutamiento y consentimiento

El reclutamiento se hizo tomando en cuenta a padres de familia de infantes que nos permitieran entrar a su hogar y pasar a observar al bebé en las horas en que se usara el sistema *4Care Monitor*, además se buscó que el estado de salud del infante fuera sano y que todavía no tuviera la habilidad verbal para comunicarse. Para tal efecto, se invitó a padres de familia de la ciudad de Santiago Papasquiaro, que queda en la región noroeste del estado de Durango que nos permitieran hacer la intervención en su hogar.

Posteriormente, se contactó de manera individual a tres individuos que se mostraron interesados en participar en el estudio para explicarles en qué consistía el procedimiento de la evaluación, sin embargo, por problemas para dar seguimiento a 2 participantes nos vimos en la necesidad de sólo hacer la intervención a 1 participante (ver tabla 8). Antes de iniciar la evaluación se solicitó a los participantes proporcionar consentimiento del uso de sus datos a través de un documento de consentimiento (ver apéndice 2), que autoriza a los investigadores a utilizar los datos de la entrevista con fines de investigación, manteniendo los términos de confidencialidad acordados en todo momento.

Tabla 8. Características de los participantes. Izquierda: Características del participante. Derecha: Características del infante.

Participante		Infante	
Género	Mujer	Género	Hombre
Edad	30-40 años	Edad	10 meses
Profesión	Ama de casa	Peso	10-15 kilogramos
Núm. de hijos	2	Estatura	50-60 cm
Experiencia en tabletas	No	Camina, Habla	No

5.5.2 Entrenamiento del sistema *4Care Monitor* y la calibración de la escala del sensor de movimiento

Durante tres días se estuvo acompañando a la participante para enseñarle acerca del uso general de la tableta (*e.g.*, recargar la batería de la tableta, encender y apagar la tableta, acceder y utilizar la aplicación *4Care Monitor*, entre otras) y de la sincronización con el sensor, como lo dice en la siguiente cita:

“Nunca había usado una tableta, no tenía ni idea de cómo funcionaba, hasta que me empezaste a mostrar lo que tenía que hacer”. (P1).

“No, en un principio si [se le dificultaba usar el sistema] pero con el tiempo ya no, porque ya se utilizar el sistema”. (P1).

Además se acordó con la madre de familia que, para sujetar el sensor al bebé, sería por medio de un pequeño saco hipoalergénico (ver imagen 21) que permite amarrarlo mediante cintas de la misma tela alrededor de las manos o pies de acuerdo a al tamaño de las mismas.



Figura 20. Saco que permite ajustarse al tamaño de las manos y pies del bebé.

Posteriormente, para establecer la escala de intensidad de movimiento, se estuvo capturando las lecturas del sensor por tres días durante aproximadamente 5 horas cada día. Con la finalidad de registrar las lecturas máximas y mínimas que el bebé pueda realizar. De este modo fijamos los límites de nuestra escala y dividimos la escala en base a la observación en sitio.

El sensor se colocó en los pies del bebé, en específico en el pie izquierdo. Se seleccionó el pie izquierdo debido a que en ambas manos el bebé tendía a tomar el sensor para jalarlo como si se lo tratara de quitar o se lo acercaba a la boca para morderlo y por consiguiente el movimiento de las manos podría ocasionar que accidentalmente se golpeará en la boca. Por medio de observación directa se determinó que el bebé tendía a hacer más movimiento con el pie izquierdo que con el derecho.

La recolección de datos se hizo mediante una aplicación llamada *MultiCaptura* (figura 22) específicamente diseñada para capturar las lecturas del sensor, sin hacer ningún post-procesamiento.

La tabla de calibración del sensor la podemos ver en la tabla 5 de la sección de implementación del sistema *4Care Monitor* del capítulo 4, en ella podemos observar que a diferencia de la escala Trost, la propuesta de esta tesis fue dividirla en 5 secciones para representar la intensidad de movimiento. Aunque los rangos son similares podemos diferenciar un ligero decremento en la escala que utiliza *4Care Monitor*, debido a que la actividad física que hace el infante menor de 12 meses se limita a hacer movimientos elementales (e.g., alcanzar y agarrar objetos, gatear).

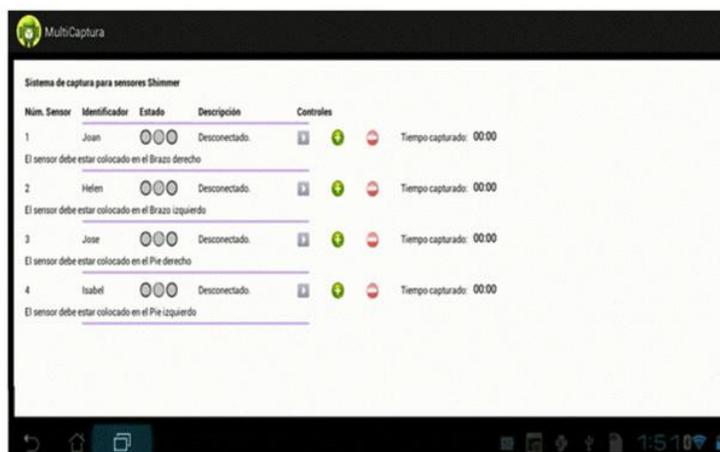


Figura 21. Aplicación que captura las muestras del sensor Shimmer para la calibración del nivel de movimiento que realiza el infante.

5.5.3 Recolección de datos, entrevistas y cuestionario de salida

Una vez que la calibración de los algoritmos de sonido y de movimiento fue realizada y el entrenamiento del usuario concluido, se realizó una entrevista inicial que permitiera conocer el interés y las expectativas de la participante, así lo expresa la participante:

“Sería interesante ver el comportamiento que tiene el bebé, que se puedan ver los movimientos y el sonido que hace el bebé. Me gustaría ver como se ven, haber si les puedo entender”. (P1).

“Pues que si el bebé está llorando el sistema dijera que es lo que tiene el bebé haber si puede llegar a predecir las necesidades del bebé”. (P1).

“Si me ha interesado más para saber qué es lo que necesita”. (P1)

A partir de ese momento la participante comenzó a usar el sistema *4Care Monitor* diariamente aproximadamente 5 horas por la mañana durante 3 semanas, como lo dice la siguiente cita:

“En la mañana no hay mucho problema porque mi preocupación es darle de almorzar a mi esposo temprano para que se vaya a trabajar, después de eso me quedo sola con los niños y les dedico todo el tiempo a ellos”. (P1)

Además para ver el progreso de uso durante la intervención se realizó una entrevista de seguimiento durante las 3 semanas para medir que tan “enganchada” estaba la participante. Se aplicó un cuestionario de salida que permitió conocer su opinión acerca del sistema *4Care Monitor*. El sistema también captura bitácoras de uso del sistema que monitorean la actividad del usuario, en términos de: tiempo de uso, número de eventos etiquetados y sin etiquetar, y consumo de batería.

5.6 Análisis de datos

Con la recolección de datos procedimos a realizar el análisis de datos, los resultados del análisis nos darán las bases para dar juicio a nuestras preguntas de investigación iniciales (capítulo 1). Particularmente analizamos los datos respecto a: uso y adopción, capacidad del archivado selectivo, espacio de almacenamiento utilizando el algoritmo “archivado selectivo”, y consumo de batería de la tableta y del sensor.

5.6.1 Uso y adopción

Durante la intervención, queríamos ver la manera en cómo la participante se adaptaba a usar el sistema *4Care Monitor*, el tiempo que lo utilizaba y sus preferencias al respecto. Se pudo observar que el uso del sistema no representó una carga extra en las actividades normales de la participante, como se muestra a continuación:

“Me levantaba le colocaba el sensor aun cuando el bebé estaba dormido, prendía la tableta y lo activaba se lo dejaba entre 5 o 6 hrs por la mañana”. (P1).

“Al realizar el que hacer de la casa no me afecta en nada el utilizar el sistema, le pongo el sensor al bebé y solamente estoy al pendiente de él, es lo mismo que haría si no utilizara el sistema, de todos modos tengo que estar atenta y cuidando al niño.” (P1).

“No me cuesta usar el sistema”. (P1)

En la figura 23 se muestra cuánto tiempo la participante usó el sistema *4Care Monitor*. El eje horizontal muestra los días en que la evaluación se hizo con la participante, que van desde el viernes 5 de julio al martes 6 de agosto. El eje vertical primario (izquierda en barras) muestra la cantidad de eventos que se registraron, y en el eje vertical secundario (derecha en línea) muestra las horas que la participante usó el sistema.

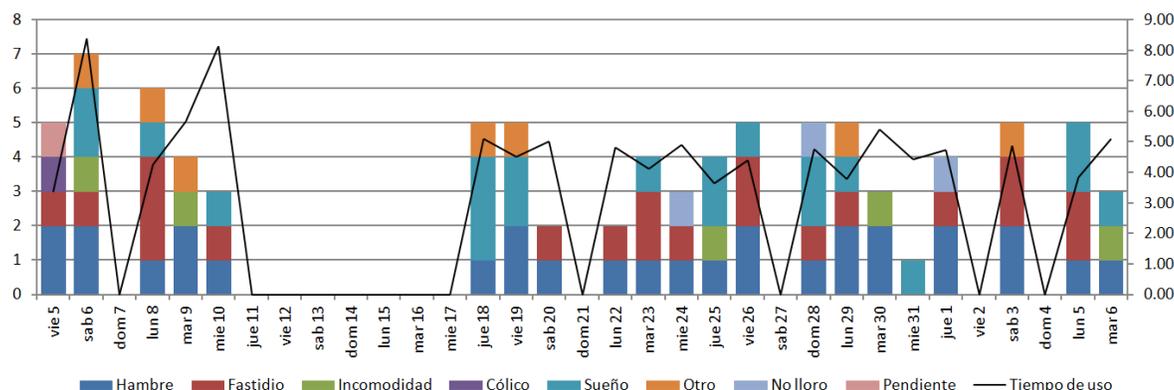


Figura 22. Eventos etiquetados y tendencia de uso por día.

Los días que aparecen sin uso son porque se acordó que un día a la semana el niño no utilizaría el sensor, por lo que la participante no utilizaría el sistema. Además debido a un problema con el cargador de la tableta se tuvo la necesidad de no usar la tableta hasta tener la reposición del cargador, quedando marcado como imprevisto los días del jueves 11 al miércoles 17. El viernes 2 de agosto el niño presentó síntomas de resfriado por lo cual la mamá tampoco le colocó el sensor.

En la gráfica podemos observar que en la primera semana hay picos que demuestran el interés del uso del sistema por el efecto novedad, tanto las horas de uso como de eventos etiquetados. Sin embargo, al pasar los días hubo una estabilidad marcada en cuanto a las

horas de uso, se puede notar que hay un patrón constante de etiquetado de eventos y del uso del sistema.

El total de horas que la participante usó el sistema fue de 107.25 horas, con un promedio de 4.87 horas por día de uso. Durante este tiempo se capturaron 86 eventos, los cuales se pueden ver en la tabla 9, ahí se puede notar que la mayor cantidad de eventos que se etiquetaron corresponden a hambre, fastidio y sueño, mientras que los eventos que menos se capturaron son de cólico e incomodidad. Como lo confirma la participante:

“Pues a mí me parece que el que tiene hambre y sueño son los más comunes y pues los veo para saber. Por la tarde es por incomodidad pero casi no llora”. (P1).

“No me preocupa porque no es por enfermedad, es más bien por incomodidad, sueño o hambre, es normal por el desarrollo del bebé”. (P1)

Tabla 9. Relación de eventos etiquetados.

Necesidad	Cantidad de eventos
Hambre	29
Fastidio	20
Incomodidad	5
Cólico	1
Sueño	20
Otro	7
No lloró	3
No etiquetado	1
Total	86

5.6.2 Capacidad del archivado selectivo

Para analizar que tanto el archivado selectivo fue capaz de obtener eventos relevantes, se midió en términos de tiempo. En la figura 24, el eje horizontal muestra el evento etiquetado, y en el eje vertical se muestra los minutos que el archivado selectivo tomó antes del llanto. El promedio de minutos es de 4.7, y para el máximo lo calculamos sumándole al

promedio la desviación estándar ($\sigma = 5.3$) quedando el máximo a 10 minutos. El 61% (53 eventos) están por debajo del promedio, el restante (*i.e.*, 39%) se puede considerar que tiene ruido debido a que sobrepasaron los 4.7 minutos del promedio establecido.

De este modo, lo que nosotros tomamos como eventos relevantes son segmentos de movimiento y sonidos que estén por debajo de los 4.7 minutos.

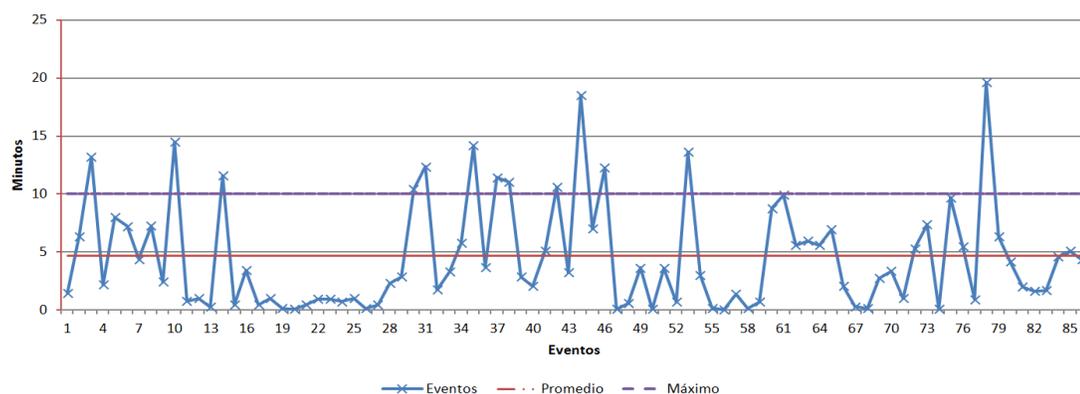


Figura 23. Cantidad de tiempo previo al llanto que el archivado selectivo toma como relevante.

Para ver una muestra de los datos que el archivado selectivo toma, mostramos un evento en la figura 25. El evento es de hambre con una duración de 59 segundos. Se puede observar que el punto más alto está al inicio de la gráfica, el cual demuestra una actividad alta, seguido de un periodo de actividad baja y lo que encierra el recuadro es una actividad constante.

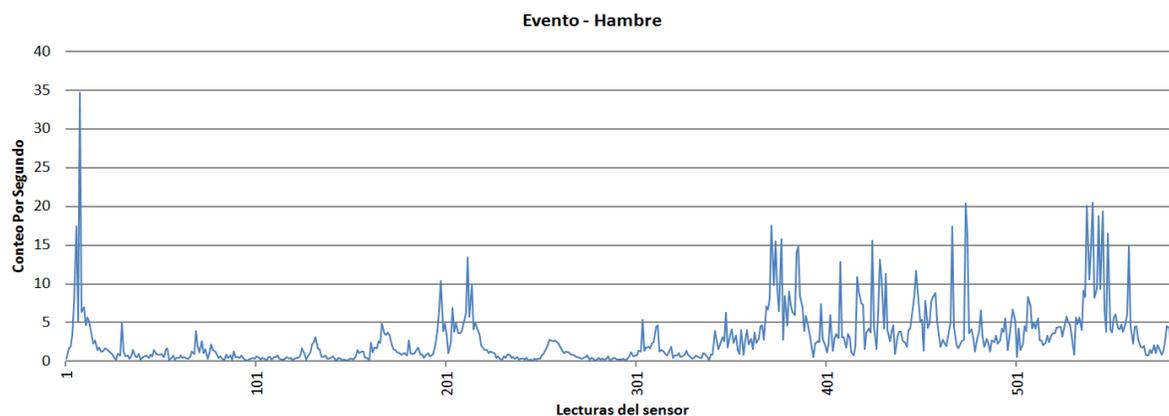


Figura 24. Gráfica de movimiento que muestra un evento registrado como hambre.

5.6.3 Espacio de almacenamiento utilizando el *algoritmo “archivado selectivo”*

Una de las cosas fundamentales que conciernen a la investigación en esta tesis, es medir el espacio de almacenamiento que requerirá el algoritmo del archivado selectivo. Para ello, medimos el espacio de almacenamiento en disco para las capturas del acelerómetro en 4.7 horas que corresponden en promedio a un día y las extrapolamos (ver figura 26). El eje horizontal indica los días de uso, el eje vertical muestra los megabytes requeridos para el almacenamiento.

En la gráfica, cuándo no se aplica el archivado selectivo, se detecta un considerable aumento de almacenamiento al pasar los días, mientras que el porcentaje que requiere el archivado selectivo es de sólo 6.4%. Esto se debe a que solo archiva los segmentos relevantes del día y no todo el flujo continuo de datos en el día.

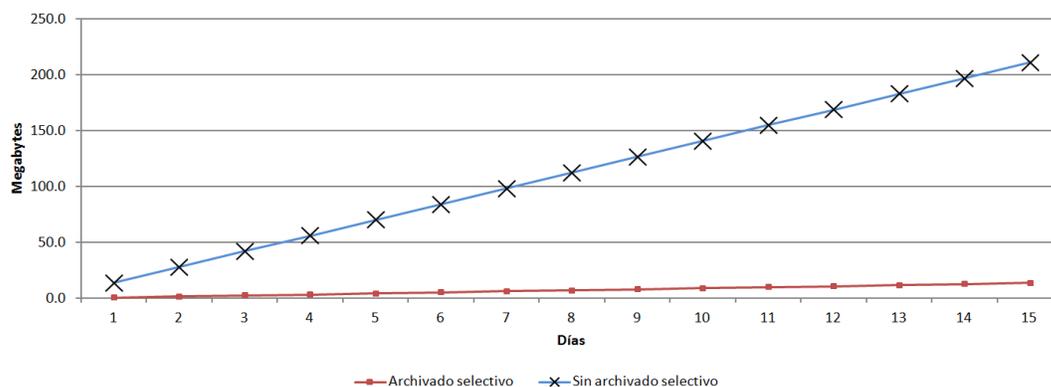


Figura 25. Comparación utilizando el archivado selectivo contra no utilizar el archivado selectivo.

5.6.4 Consumo de batería de la tableta y del sensor

Una de las cosas importantes a considerar es el consumo de la batería, en la figura 27 se muestra en el eje horizontal los días de uso y en eje vertical el promedio de la batería del día, se puede observar que no hay ningún día en que tuviera menos del 40% de carga y por tanto pudiera terminársele la batería por completo. Esto se debe a que al ser un dispositivo portátil, se pueda recargar con facilidad en el tiempo que tenga disponible la participante, al igual que pasa con el sensor como lo dice la participante:

“Si ha durado la carga del sensor”. (P1).

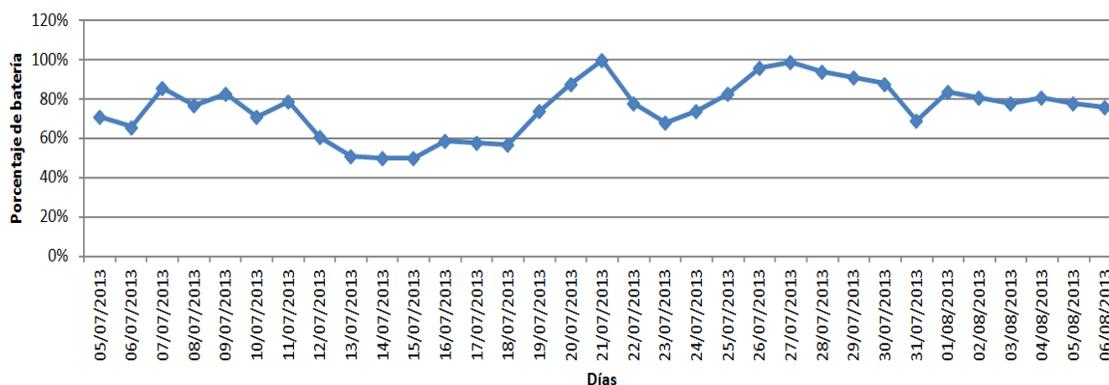


Figura 26. Promedio del consumo de la batería por día.

5.6.5 Facilidad de uso

Los usuarios podrán recibir un mayor beneficio del sistema, en la medida que *4Care Monitor* sea fácil de usar. Por un lado la facilidad de uso está influenciada por la experiencia del el usuario con los dispositivos móviles y por otro el diseño adecuado de interfaces que sean accesibles y de fácil entendimiento para el usuario.

En este estudio, la participante no tuvo ninguna experiencia en el uso de tabletas digitales, sin embargo, al pasar el tiempo, se pudo constatar que solucionaba problemas por sí sola (*e.g.*, desconexión del sensor, salidas accidentales de la aplicación, entre otras), sin la necesidad de depender de otra persona. Como lo expresa la participante:

“Al principio no sabía utilizarla [la tableta] muy bien, pero al pasar el tiempo fui aprendiendo el funcionamiento de la tableta”. (P1).

5.6.6 Utilidad

Aunque la finalidad principal del sistema *4Care Monitor* es predecir las necesidades que tiene el infante, la participante se mostró interesada y motivada en usar el sistema para saber qué necesidades y con qué frecuencia se presentaban en el infante a lo largo del día.

El archivado selectivo sirve como herramienta para la captura de los eventos relevantes y de este modo se puede formar una base de datos para su posterior análisis para el reconocimiento de patrones. Con esto se posibilita el predecir las necesidades del infante, como lo indica la participante en la siguiente cita:

“Sí, porque así sabe uno lo que él quiere o lo que le molesta, también sería muy útil o ayudaría mucho si identificara qué es lo que necesita, si tiene hambre o sueño, porque ya sabría con más confianza si tiene más hambre o ya se quiere dormir si sería muy útil.” (P1).

“Me gustaría saber el patrón cuando tiene cólico, los otros ya se sabe más o menos”.
(P1).

5.6.7 Visualizaciones

El principal problema que la participante tuvo con las visualizaciones fue el entendimiento de la gráfica, aunque la escala (bajo, medio bajo, medio, medio alto y, alto) permite abstraer las lecturas para un mayor entendimiento, no es fácil verlo a través del tiempo, dado que los puntos graficados aparecen cada segundo, de tal manera, que no se puede visualizar por más de 2 minutos seguidos. Esto lo comenta la participante:

“A mí no se me hace tan fácil de interpretar, no es fácil interpretar las líneas de la gráfica aunque este el nivel indicado, yo pienso que lo demás si está bien”. (P1).

Sin embargo, existen puntos a favor, uno de ellos es poder ver una lista de los eventos que el bebé hizo durante el día. Esto le ayuda para darse una idea más clara sobre las necesidades de bebé, y así poder estar pendiente y tener lo necesario para su satisfacción.

“Está bien que pueda ver lo que el niño hizo en el día”. (P1).

5.7 Conclusiones

La evaluación y todas las actividades que de ella derivaron se concluyeron de manera satisfactoria, pudimos probar el sistema en un entorno real. Durante la preparación del estudio pudimos establecer los límites máximos y mínimos de la intensidad del sonido, las cuales nos ayudaron a establecer un nivel que representara su intensidad para que fuera graficado. Además se creó una base de datos de sonidos para entrenar el algoritmo de detección de llanto sostenido.

El algoritmo de sonido se evaluó teniendo un adecuado nivel de certeza para la detección del llanto sostenido. Se estableció la escala del nivel de movimiento que el infante realiza. Se entrenó a la participante en el uso de la herramienta, teniendo interés al usarla, como dicen las siguientes citas:

“Si a esta edad la quisieras retirar yo creo que si te diría que lo dejaras más tiempo hasta que crezca más; de perdido al año o que empiece a hablar, al igual si tuviera menos tiempo”. (P1).

“Así como esta ahorita si lo utilizo y si estuviera completo si me gustaría usarlo para saber qué es lo que sucede con el bebé”. (P1).

En el capítulo siguiente se reportan las conclusiones generales del proceso de investigación.

Capítulo 6. Conclusiones y aportaciones

En esta tesis se identificaron las variables contextuales, sonidos, y movimientos relevantes que los padres de familia utilizan para anticipar las necesidades del infante. Para ello, hemos desarrollado un sistema de captura y acceso, que permite a los padres de familia, la captura selectiva en tiempo real de los sonidos y movimientos previos al llanto, y asociar información contextual relevante a dichos sonidos. La información que los padres capturan de manera selectiva les permitirá conocer oportunamente las necesidades del infante e idealmente anticiparse al llanto.

Mediante técnicas de teoría fundamentada y de diseño contextual rápido se identificaron las variables contextuales (*i.e.*, sonidos y movimientos) que los padres de familia utilizan para anticiparse a las necesidades del bebé. El resultado del análisis de datos mostró 4 categorías fundamentales: cuidados del infante, lenguaje del infante, monitoreo de información y, consulta y visualización de información. Además los problemas más importantes que afectan a las categorías son: falta de registro de información estándar, falta de alertas al entrar en una zona insegura, problemas en la identificación de necesidades y, falta de historial del comportamiento del infante.

Los resultados obtenidos del proceso de diseño y del análisis cualitativo sirvieron para elaborar el diseño general del sistema. Estas incluyen la funcionalidad del monitor, las secciones que contiene el sistema, y los datos que se grabarán en la base de datos.

Además se elaboró un algoritmo para la captura y el procesamiento de las muestras del acelerómetro. Se propone utilizar un algoritmo que toma la información contextual (*i.e.*, llanto) para realizar de manera automática el archivado selectivo. El algoritmo que se propone utilizar es el llamado MEL-MBSES (Rincon et al., 2013).

La evaluación y todas las actividades que de ella derivaron se concluyeron de manera satisfactoria. Utilizando la técnica de “mago de oz” pudimos probar el sistema *4Care Monitor* en un entorno real. Durante la preparación del estudio pudimos establecer los límites máximos y mínimos de la intensidad del sonido, las cuales nos ayudaron a establecer el nivel que representara su intensidad para que fuera graficado. Además se creó una base de datos de sonidos para entrenar el algoritmo de detección de llanto. El algoritmo de sonido se evaluó con pruebas de laboratorio teniendo un adecuado nivel certeza para la detección del llanto sostenido. Se estableció la escala del nivel de movimiento que el infante realiza.

Se pudo constatar que el archivado selectivo potenciado con el reconocimiento del contexto automatiza la indexación de la captura, ya que al momento de determinar que existe llanto, se activa automáticamente el algoritmo de archivado selectivo. De esta manera, los padres de familia no interrumpen sus actividades diarias para archivar e indexar un evento relevante.

Durante la evaluación en sitio pudimos poner a prueba la capacidad del sistema *4Care Monitor*, pudiendo encontrar limitaciones que afectan su adecuado funcionamiento. Las principales limitaciones del sistema se listan a continuación:

- La velocidad de respuesta se hace más lenta y se sobrecarga. Esto es debido a la gran cantidad de cómputo que la tableta requiere hacer para procesar la información del sonido (solamente intensidad de sonido) y del movimiento, provocando que la visualización de información sea tardía. Básicamente se están computando las muestras del sensor (*e.g.*, se les calibra, se les remueve la gravedad, se calcula la magnitud, se calcula el recuento de puntos), se está calculando la intensidad del sonido, y se está graficando el nivel de intensidad del movimiento y del sonido.

Para resolver el problema primero se tienen que trasladar los algoritmos propuestos a una computadora para estudiarlos. De tal manera que se detecten los puntos que generan más sobrecarga, analizarlos y poder hacer modificaciones a los algoritmos para solucionarlos. Por ejemplo, reducir la frecuencia de muestreo para la captura del sonido.

- La visualización que el usuario tiene para ver la intensidad del sonido y movimiento no es la adecuada. Sería necesario hacer un estudio para determinar cuál visualización sería la más adecuada. Por ejemplo, el tipo de gráfica mostrada se podría remplazar por otra que se asemejara a un odómetro para que permitiera visualizar el cambio de la intensidad registrada con mayor facilidad.
- El estudio en sitio no es generalizable para todos los bebés. Esto es porque se hizo solamente con un participante. Sería interesante realizar un estudio que analice el comportamiento de múltiples bebés con el sistema *4Care Monitor* para observar las similitudes del comportamiento entre cada uno y determinar si puede ser generalizable para ser usado con bebés en México.

Por otro lado pudimos percibir que el sistema *4Care Monitor* también tiene puntos favorables e interesantes. Estos se expresan a continuación:

- La consulta del historial de eventos es interesante para los padres de familia. Es decir, los padres de familia están interesados en saber que tanto el bebé lloró y cuáles fueron las causas que lo originaron. Aunque el llanto no sea por alguna enfermedad, los padres de familia principalmente se sintieron atraídos por conocer cuántas veces lloraba por hambre y por sueño, esto se debe a que quieren controlar la rutina del bebé de la mejor manera posible.
- El sistema *4Care Monitor* sirve para que los padres de familia estén más conscientes del desarrollo del bebé.
- Tener un registro de las necesidades que tenga el bebé más apegado a la realidad en comparación a registros hechos a mano. Esto es particularmente útil cuándo

se visita a un pediatra o cuando se quiere precisar qué comportamiento tuvo el bebé en un determinado periodo de tiempo.

En general, los resultados indican que el sistema 4CareMonitor tuvo una aceptación favorable para el cuidado del infante. De este modo, el sistema *4Care Monitor* puede ser mejorado para añadir más y mejores funcionalidades que ayuden a solucionar los problemas que los padres de familia presentan para el monitoreo y cuidado de su bebé.

En este sentido, realizar estudios en sitio con una población tan vulnerable como son los bebés, requiere principalmente de tener consentimiento de los padres de familia. Además de que la comunicación debe ser muy fluida y constante para que los padres de familia estén conscientes del proceso de la intervención. Informar paso a paso las actividades a realizar y de las herramientas o dispositivos que se vayan a utilizar, (*e.g.*, el tipo de sensor que se utilizó en el estudio). Con la finalidad de realizar la observación de manera adecuada y segura. Las aportaciones que el estudio dio hacia los padres de familia son:

- La promoción del uso de tecnologías para el cuidado y el monitoreo del bebé. Esto con la finalidad de hacer el trabajo más fácil y de que la información capturada esté disponible de una manera más accesible para los padres de familia.
- La promoción de la existencia de múltiples fuentes de información para el cuidado y el desarrollo del bebé. Por ejemplo, los “hitos” que son pequeñas actividades que el bebé tiene que realizar gradualmente en su desarrollo.

Ciertamente existen puntos que se podrían mejorar al realizar el estudio. Una de las cosas importantes de la investigación es el uso del sensor, aquí utilizamos el sensor Shimmer. Los siguientes puntos los pudimos observar dentro del estudio:

- El tamaño del sensor no es lo suficientemente pequeño para usarlo en bebés con manos y pies pequeños, lo que provocaría mayor incomodidad y cansancio del bebé.
- Para recargar el sensor se requiere conectar la base del sensor a una computadora. Lo que puede hacer perder el tiempo a los padres de familia en andar buscando la base y tener disponible una computadora para realizar la recarga.

Sin embargo, con el surgimiento de nuevas tecnologías y con la disminución del tamaño de los dispositivos, se puede sustituir por otro que sea menos incomodo para el bebé. Por ejemplo, aquellos sensores que sean diminutos y que se puedan colocar en la piel sin que el bebé sintiera que los trae puestos. Esto puede mejorar a que el bebé no sintiera ninguna incomodidad.

También los escenarios de uso podrían ser diferentes para cada familia. Por ejemplo, algunas mamás pueden trabajar después de que dieron a luz, lo que provocaría que alguna otra persona (*e.g.*, abuela, tía, etc.) tuviera que cuidar al bebé en su lugar. Significando que éstos deban de tener un entrenamiento previo y una disposición positiva para usar el sistema. Otro ejemplo, es que dentro de una familia pueda haber otro bebé más grande que el que estuviera utilizando el sistema provocando que pueda “confundir” al sistema, debido a que se detectaría sonidos parecidos al llanto con más frecuencia. Esto es uno de los problemas que se debe tener presente para pensar en la generalización del sistema, dado que cada costumbre o cada actividad realizada por una familia y por tanto para cada bebé pueden ser totalmente diferentes a otra.

Es posible pues, realizar diferentes experimentos que puedan mejorar el desempeño del sistema en entornos reales. Por ejemplo, modificar el algoritmo de audio para que sea más rápido y más eficiente. Tal es el caso de utilizar cadenas ocultas de Markov en lugar de las máquinas de soporte vectorial. Sin embargo, esto requiere de más tiempo de desarrollo que excedería el tiempo que se tiene destinado para la terminación de la tesis.

Como el sistema requiere que los algoritmos de reconocimiento de llanto y de movimiento sean ejecutados en dispositivos móviles, se tienen las limitaciones propias del dispositivo (*i.e.*, el consumo de batería, la carga y la velocidad en que se computan los datos). Además de trasladar estos dispositivos al sitio, teniendo que considerar las posibles fallas que pueda ocurrir al dispositivo (*e.g.*, averías del dispositivo móvil o del sensor). Esto puede influir en la opinión del usuario acerca de la utilización del sistema porque puede frustrarse al no poder utilizar el dispositivo de manera adecuada. Sin embargo, nosotros asumimos en base a la técnica de “mago de oz” que tendríamos siempre un 100 % de precisión, debido a que el usuario está indicando el momento en que el bebé está llorando. Por lo que siempre va a indicar que existe llanto.

6.1 Trabajo futuro

El sistema presentado en este trabajo de tesis y su correspondiente evaluación puede generar nuevas ideas y herramientas que permitan a los padres de familia monitorizar a sus bebés. Las ideas que pueden considerarse para mejorar el sistema *4Care Monitor* son los siguientes:

- Mejorar la interfaz gráfica para la presentación de los datos del sonido y de los movimientos que realiza el infante. De tal manera que se facilite la interpretación y el entendimiento de esos los datos.
- Integrar los demás elementos que surgieron de las estrategias propuestas (capítulo 3) para dar solución a los problemas actuales.

Los elementos que pueden ser estudiados como un trabajo de investigación a futuro pueden tener como finalidad las siguientes:

- Explorar algoritmos de reconocimiento de llanto infantil que puedan ser usados en un dispositivo móvil sin los problemas que conlleva realizar el procesamiento y el cómputo de datos (*e.g.*, consumo de memoria, lentitud en el procesamiento).

- Estudiar el comportamiento entre infantes para determinar si el sistema *4Care Monitor* mostrado en esta tesis, puede ser generalizable a todos los infantes o si existen diferencias significativas (*e.g.*, algunos infantes lloran menos que otros).
- Predecir o inferir una necesidad del infante a partir de los sonidos y movimientos recabados por el sistema *4Care Monitor*.

Referencias bibliográficas

- Abowd, G. D. (1999). Classroom 2000: An experiment with the instrumentation of a living educational environment. *IBM Systems Journal*, 38(4), 508–530. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=339365.339367>
- Aizawa, K., Tancharoen, D., Kawasaki, S., & Yamasaki, T. (2004). Efficient retrieval of life log based on context and content. In *Proceedings of the the 1st ACM workshop on Continuous archival and retrieval of personal experiences - CARPE '04* (p. 22). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1026653.1026656>
- Amaro Camargo, E., & Reyes García, C. A. (2007). Applying statistical vectors of acoustic characteristics for the automatic classification of infant cry. In *Proceeding ICIC'07 Proceedings of the intelligent computing 3rd international conference on Advanced intelligent computing theories and applications*, 1078–1085. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1777454.1777574>
- Android, D. (2013). SensorEvent. Retrieved August 27, 2013, from <http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent.html#values>
- Asadzadeh, P., Kulik, L., & Tanin, E. (2011). Gesture recognition using RFID technology. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(3), 225–234. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2158828.2158845>
- Asus. (n.d.). Asus Transformr TF101. Retrieved from http://www.asus.com/Tablets_Mobile/Eee_Pad_Transformer_TF101
- Boukydis, C. F. Z., & Lester, B. M. (1985). *Infant crying* (p. 400). Plenum Press.
- Brotherton, J. A., Abowd, G. D., & Truong, K. N. (1999). Supporting capture and access interfaces for informal and opportunistic meetings. *Paper submitted to Conference on Human Factors in Computing Systems '99*.
- Castro, L. A., & Favela, J. (2008). Reducing the uncertainty on location estimation of mobile users to support hospital work. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 38(6), 861–866. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4656567
- Cliff, D. P., Reilly, J. J., & Okely, A. D. (2009). Methodological considerations in using accelerometers to assess habitual physical activity in children aged 0-5 years. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 12(5), 557–67. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19147404>

- Colton, R. H., & Steinschneider, A. (1981). The cry characteristics of an infant who died of the sudden infant death syndrome. *The Journal of speech and hearing disorders*, 46(4), 359–63. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7300264>
- CONAPO. (2012). Indicadores demográficos básicos 1990-2030. Retrieved January 03, 2012, from <http://www.conapo.gob.mx>
- Dey, A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(1), 4–7. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=593570.593572>
- Dey, A. K., Salber, D., Abowd, G. D., & Futakawa, M. (1999). The conference assistant: Combining context-awareness with wearable computing, 21. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=519309.856496>
- Donovan, W. L. (1981). Maternal learned helplessness and physiologic response to infant crying. *Journal of personality and social psychology*, 40(5), 919–26. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7241343>
- Donovan, W. L., Leavitt, L. A., & Walsh, R. O. (1990). Maternal self-efficacy: illusory control and its effect on susceptibility to learned helplessness. *Child development*, 61(5), 1638–47. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2245753>
- Drummond, J. E., McBride, M. L., & Wiebe, C. F. (1993). The development of mothers' understanding of infant crying. *Clinical nursing research*, 2(4), 396–410; discussion 411–3. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8220195>
- Dunstan, P. (2008). Amazing medical breakthroughs. Retrieved January 03, 2012, from <http://www.oprah.com/oprahshow/Amazing-Medical-Breakthroughs/1>
- Ehlen, P., Purver, M., & Niekrasz, J. (2007). A meeting browser that learns. In: *Proceedings of the AAI spring symposium on interaction challenges for intelligent assistants*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.148.7669>
- Elrod, S., Pier, K., Tang, J., Welch, B., Bruce, R., Gold, R., ... Pedersen, E. (1992). Liveboard: A large interactive display supporting group meetings, presentations, and remote collaboration. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '92* (pp. 599–607). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=142750.143052>
- García Orozco, J., & Reyes, C. A. (2003). Acoustic features analysis for recognition of normal and hypoacoustic infant cry based on neural networks. In J. Mira & J. R. Álvarez Artificial Neural Nets Problem Solving Methods. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/4pn152fr42qvmhr/>

- Gemmell, J., Bell, G., Lueder, R., Drucker, S., & Wong, C. (2002). MyLifeBits: Fulfilling the Memex vision. In *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia - MULTIMEDIA '02* (p. 235). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=641007.641053>
- Gemmell, J., Williams, L., Wood, K., Lueder, R., & Bell, G. (2004). Passive capture and ensuing issues for a personal lifetime store. *Proceedings of the the 1st ACM workshop on Continuous archival and retrieval of personal experiences - CARPE'04*, 48. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1026653.1026660>
- Hayes, G. R., Gardere, L. M., Abowd, G. D., & Truong, K. N. (2008). CareLog: A selective archiving tool for behavior management in schools. In *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08* (p. 685). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1357054.1357164>
- Hayes, G. R., Poole, E. S., Iachello, G., Patel, S. N., Grimes, A., Abowd, G. D., & Truong, K. N. (2007). Physical, social, and experiential knowledge in pervasive computing environments. *IEEE Pervasive Computing*, 6(4), 56–63. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1308430.1308668>
- Hidayati, R., Purnama, I. K. E., & Purnomo, M. H. (2009). The extraction of acoustic features of infant cry for emotion detection based on pitch and formants. In *International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009* (pp. 1–5). IEEE. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5417242
- Holtzblatt, K., Burns Wendell, J., & Wood, S. (2004). *Rapid contextual design: A how-to guide to key techniques for user-centered design*. Elsevier (p. 320).
- Jam, M. M., & Sadjedi, H. (2009). A system for detecting of infants with pain from normal infants based on multi-band spectral entropy by infant's cry analysis. In *2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering* (pp. 72–76). IEEE. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1725031.1725713>
- Ju, W., Ionescu, A., Neeley, L., & Winograd, T. (2004). Where the wild things work: Capturing shared physical design workspaces. In *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '04* (p. 533). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1031607.1031696>
- Kientz, J. A., Arriaga, R. I., & Abowd, G. D. (2009). Baby steps: Evaluation of a system to support record-keeping for parents of young children. In *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI '09* (p. 1713).

New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1518701.1518965>

- Kientz, J. A., Boring, S., Abowd, G. D., & Hayes, G. R. (2005). *Abaris: Evaluating automated capture applied to structured autism interventions*. In *Proceeding of UbiComp'05 Proceedings of the 7th international conference on Ubiquitous Computing* (Vol. 3660, pp. 323–339). Berlin, Heidelberg: Springer. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2156905.2156924>
- LaGasse, L. L., Neal, a R., & Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: Acoustic cry analysis and parental perception. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 11(1), 83–93. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15856439>
- Lamming, Michael. (1991). *NoTime — A tool for notetakers*. In *Proceedings of Friend 21: International Symposium on Next Generation Human Interface* (pp. 91–135). Retrieved from <http://citeseer.uark.edu:8380/citeseerx/showciting;jsessionid=EBD33462E105A08855AEA883D8D3702F?cid=76863>
- Lamming, Mik, & Flynn, M. (1994). Forget-me-not: Intimate computing in support of human memory. *Proceedings of FRIEND21, '94 International Symposium on Next Generation Human Interface*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.6966&rep=rep1&type=pdf>
- Lederman, D. (2002). *Automatic classification of infants' cry*. Tesis de maestría, Faculty of Engineering Sciences Department of Electrical and Computer Engineering. Ben-Gurion University of the Negev. Retrieved from <http://www.ee.bgu.ac.il/~drorle/thesis.pdf>
- Lederman, D., Zmora, E., Hauschildt, S., Stellzig-Eisenhauer, A., & Wermke, K. (2008). Classification of cries of infants with cleft-palate using parallel hidden Markov models. *Medical & biological engineering & computing*, 46(10), 965–75. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18368431>
- Liu, L. S., Hirano, S. H., Tentori, M., Cheng, K. G., George, S., Park, S. Y., & Hayes, G. R. (2011). Improving communication and social support for caregivers of high-risk infants through mobile technologies. In *Proceedings of the ACM 2011 conference on Computer supported cooperative work - CSCW '11* (p. 475). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1958824.1958897>
- Lockerd, A., & Mueller, F. M. (2002). LAFCam: Leveraging affective feedback camcorder. In *CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '02* (p.

- 574). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=506443.506490>
- Mamykina, L., Goose, S., Hedqvist, D., & Beard, D. V. (2004). CareView: Analyzing nursing narratives for temporal trends. In *Extended abstracts of the 2004 conference on Human factors and computing systems - CHI '04* (p. 1147). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=985921.986010>
- Martinez, R. A. (2013). *Diseño de componentes para el análisis del comportamiento y contexto de poblaciones de usuarios de teléfonos móviles*. Tesis de maestría, Ciencias de la Computación, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE.
- Messaoud, A., & Tadj, C. (2010). A cry-based babies identification system. (A. Elmoataz, O. Lezoray, F. Nouboud, D. Mammass, & J. Meunier, Eds.) *4th International Conference, ICISP 2010, Trois-Rivières, QC, Canada, June 30-July 2, 2010. Proceedings, 6134*, 192–199. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/914562876875u814/>
- Mynatt, E. D., Igarashi, T., Edwards, W. K., & LaMarca, A. (1999). Flatland: New dimensions in office whiteboards. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems the CHI is the limit - CHI '99* (pp. 346–353). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=302979.303108>
- Newman, W. M., Eldridge, M. A., & Lamming, M. G. (1991). PEPYS: Generating autobiographies by automatic tracking. In *proceedings of the second european conference on computer-supported co-operative work*, 175 – 188. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.144.319>
- Newman, W., & Wellner, P. (1992). A desk supporting computer-based interaction with paper documents. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '92* (pp. 587–592). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=142750.143007>
- Petrasova, A., Czanner, G., Happa, J., Czanner, S., Wolke, D., & Chalmers, A. (2010). Assessing a virtual baby feeding training system. In *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa - AFRIGRAPH '10* (p. 37). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1811158.1811165>
- Plaisant, C., Milash, B., Rose, A., Widoff, S., & Shneiderman, B. (1996). LifeLines: Visualizing personal histories. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems common ground - CHI '96* (p. 221–ff.). New York, New

- York: ACM Press. Retrieved from
http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=238493&type=html
- Reyes García, C. A., Cano Ortiz, S. D., & Arch Tirado, E. (2009). *Fundamentos teóricos y prácticos del análisis del llanto infantil* (p. 148). Editorial Académica Española.
- Rincon, E., Beltran, J., Tentori, M., Favela, J., & Chavez, E. (2013). A context-aware baby monitor for the automatic selective archiving of the language of infants. *ENC 2013, Mexican International Conference on Computer Science, Morelia Michocán, México*.
- Rosales Pérez, A., Reyes García, C. A., & Gómez Gil, P. (2011). Genetic fuzzy relational neural network for infant cry classification, Proceeding MCP'11 Proceedings of the Third Mexican conference on Pattern recognition, 288–296. Retrieved from
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2026143.2026179>
- Roy, D., Patel, R., DeCamp, P., Kubat, R., Fleischman, M., Roy, B., ... Gorniak, P. (2006). *The human speechome project*. in (Vol. 4211, pp. 192–196) P. Vogt, Y. Sugita, E. Tuci, & C. Nehaniv. Proceeding EELC'06 Proceedings of the Third international conference on Emergence and Evolution of Linguistic Communication: symbol Grounding and Beyond Berlin, Heidelberg: Springer. Retrieved from
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2166314.2166329>
- Ruíz Díaz, M. A., Reyes García, C. A., Altamirano Robles, L. C., Xalteno Altamirano, J. E., & Verduzco Mendoza, A. (2012). Automatic infant cry analysis for the identification of qualitative features to help opportune diagnosis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7(1), 43–49. Retrieved from
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bspc.2011.06.011>
- Salber, D., Dey, A. K., & Abowd, G. D. (1999). The context toolkit: aiding the development of context-enabled applications. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems the CHI is the limit - CHI '99* (pp. 434–441). New York, New York: ACM Press. Retrieved from
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=302979.303126>
- Sanchez, D., Tentori, M., & Favela, J. (2008). Activity recognition for the smart hospital. *IEEE Intelligent Systems*, 23(2), 50–57. Retrieved from
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4475859
- Shimmer. (2011). *Shimmer 9DOF Calibration User Manual, Rev. 1.0b* (p. 33). Retrieved from <http://www.shimmersensing.com>
- Stevens, M. M., Abowd, G. D., Truong, K. N., & Vollmer, F. (2003). Getting into the living memory box: Family archives & holistic design. *Personal and Ubiquitous*

Computing, 7(3-4), 210–216. Retrieved from
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=950502.950514>

Stifelman, L., Arons, B., & Schmandt, C. (2001). The audio notebook: paper and pen interaction with structured speech. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - *CHI '01* (pp. 182–189). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=365024.365096>

Strauss, A., and Corbin, J. (1994). *Grounded theory methodology: An overview* In Handbook of Qualitative Research, N. K. Denzin and Y. S. Lincoln (Eds.), Sage Publications, Thousand Oaks, pp. 273-285.

Suaste Rivas, I., Díaz Méndez, A., Reyes García, C. A., & Reyes Galaviz, O. F. (2006). *Hybrid neural network design and implementation on FPGA for infant cry recognition*. In Proceeding TSD'06 Proceedings of the 9th international conference on Text, Speech and Dialogue. (P. Sojka, I. Kopeček, & K. Pala) (Vol. 4188, pp. 703–709). Berlin, Heidelberg: Springer. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/97u8334045351851/>

Trost, S. G., Fees, B. S., Haar, S. J., Murray, A. D., & Crowe, L. K. (2012). Identification and validity of accelerometer cut-points for toddlers. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 20(11), 2317–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22173573>

Truong, K. N., & Hayes, G. R. (2007). Ubiquitous computing for capture and access. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 2(2), 95–171. Retrieved from <http://www.nowpublishers.com/product.aspx?product=HCI&doi=1100000014>

Weiser, M. (1999). The computer for the 21 st century. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 3(3), 3–11. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=329124.329126>

White, D. R., Camacho-Guerrero, J. A., Truong, K. N., Abowd, G. D., Morrier, M. J., Vekaria, P. C., & Gromala, D. (2003). Mobile capture and access for assessing language and social development in children with autism. In *Extended Abstracts of Ubicomp 2003: The International Conference on Ubiquitous Computing* (pp. 137–140).

Wood, R. M., & Gustafson, G. E. (n.d.). Infant crying and adults' anticipated caregiving responses: acoustic and contextual influences. *Child development*, 72(5), 1287–300. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11699671>

Yeh, R., Liao, C., Klemmer, S., Guimbretière, F., Lee, B., Kakaradov, B., ... Paepcke, A. (2006). ButterflyNet: A mobile capture and access system for field biology research. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems -*

CHI '06 (p. 571). New York, New York: ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1124772.1124859>

Zeifman, D. M. (2003). Predicting adult responses to infant distress: Adult characteristics associated with perceptions, emotional reactions, and timing of intervention. *Infant Mental Health Journal*, 24(6), 597–612. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1002/imhj.10077>

Apéndice 1

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

Documento de consentimiento para padres de familia

Se le solicita su apoyo para participar en la entrevista de investigación. La participación es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir si desea participar. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACION

Investigador líder:

Mónica Tentori

Ciencias de la Computación, CICESE

mtentori@gmail.com

Investigadores:

Efraín Rincón

Ciencias de la Computación, CICESE

erincon@cicese.mx

PROPOSITO DE LA ENTREVISTA

El propósito de la entrevista es conocer los patrones que los bebés realizan antes de llorar e identificar las necesidades más comunes que presenta el bebé.

TEMAS

Requerimientos

Usted es elegible para participar en el estudio si usted es padre de familia de por al menos un bebé que todavía no adquieren el habla.

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Nos gustaría audio grabar las entrevistas que le realicemos. Si usted está de acuerdo en que se audio graben, dichas grabaciones serán manejadas por el equipo de investigación en estricto orden confidencial. Únicamente el equipo de investigación tendrá acceso a ellos. Nosotros transcribiremos las audio grabaciones eliminando su nombre y cualquier información que revele su identidad. Si usted así lo desea puede participar en el estudio y no ser audio grabado durante las entrevistas. Si usted no está de acuerdo en que se realicen las audio grabaciones, nosotros tomaremos notas de las entrevistas.

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar el equipo de investigación son los únicos que tienen la autorización de acceso a los datos, según los términos de confidencialidad mencionados. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre su identidad no será voluntariamente revelada por el equipo (que tendrán acceso a los datos) sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad.

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos para futuras investigaciones.

SI USTED TIENE ALGUNA PREGUNTA

Si tiene comentarios, dudas, preocupaciones con respecto a la forma en la que se llevará a cabo la entrevista por favor contacte al equipo de investigación listado al inicio del presente documento.

ACUERDO DE PARTICIPACION VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en esta entrevista es voluntaria.** Usted puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento. Su firma indica que usted ha leído la información en este documento de consentimiento y ha tenido la oportunidad de hacer cualquier pregunta que tenga sobre la entrevista.

Estoy de acuerdo en participar en la entrevista.

 Firma

 Fecha

 Nombre

 Firma del Investigador

 Fecha

 Nombre del Investigador

Apéndice 2

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

Documento de consentimiento para padres de familia

Se solicita su apoyo para participar en un estudio de investigación. La participación es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir si desea participar. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACION

Investigador líder:

Mónica Tentori
Ciencias de la Computación, CICESE
mtentori@gmail.com

Investigador:

Efraín Rincón
Ciencias de la Computación, CICESE
erincon@cicese.mx

PROPOSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio es evaluar un sistema de adquisición de datos que permita identificar los sonidos y movimientos que los bebés realizan antes de llorar para asociarlos a las necesidades más comunes que presenta el bebé. La información recolectada servirá como base para analizar los patrones de sonidos y movimientos que el bebé realiza antes del llanto para asociarlos con una palabra (e.g., un bebé realiza dos sonidos fuertes cuando tiene hambre).

TEMAS

Requerimientos

Usted es elegible para participar en el estudio si usted es padre de familia de por al menos un bebé que todavía no adquiere el habla.

PROCEDIMIENTO

El sistema de adquisición de datos se llama *4Care Monitor*, funciona en una tableta digital y usa un sensor de movimiento, la comunicación entre ellos es inalámbrica (fig. 1). El sensor (fig. 2) recolecta la intensidad de movimiento que realiza el bebé, mientras que la tableta recolecta el sonido y los muestra en pantalla (fig. 3). Básicamente el sistema funciona de la siguiente manera:

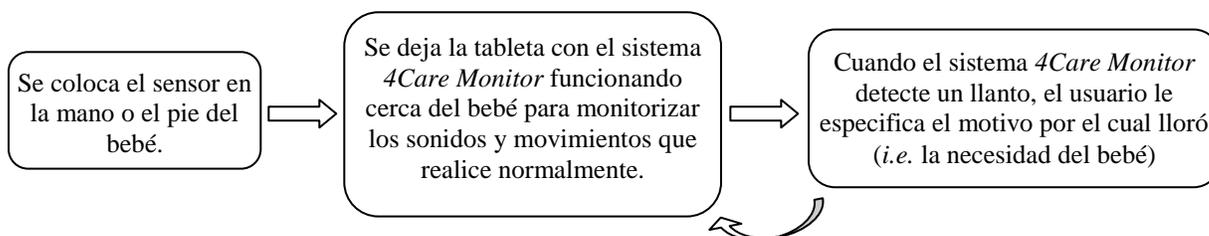


Figura 1. Funcionamiento general del sistema 4Care Monitor.



Figura 2. Sensor de movimiento.



Figura 3. Pantalla principal de 4Care Monitor.

4Care Monitor utiliza algoritmos computacionales para reconocer el llanto y para identificar la intensidad de movimiento, estos algoritmos requieren de una fase de entrenamiento, por tal motivo, el estudio constará de dos fases. La primera fase es para entrenar los algoritmos, y la segunda fase es para evaluar apropiadamente el sistema 4Care Monitor.

El equipo será proporcionado por CICESE durante el estudio y se retirará al término del mismo. A continuación se explicará a detalle cada fase:

Fase de entrenamiento.

Esta fase tiene como objetivo entrenar los algoritmos que se utilizarán para reconocer el llanto y para calibrar la intensidad de movimiento que puede realizar el bebé. La fase inicia con la entrega del equipo y tendrá una duración de 2 días.

Para la captura de sonidos, se utilizará a lo más 4 micrófonos portátiles (fig. 4), mismos que se distribuirán a lo largo de 0 a 4 pasos de donde se encuentre el bebé en la forma en que se crea más conveniente de acuerdo al lugar.



Figura 4. Micrófonos portátiles.

Para la captura de movimientos, se utilizarán a lo más 2 sensores de movimiento y una tableta digital con un sistema funcionando llamado *multi-captura* (fig. 5). Los sensores se distribuirán en las extremidades del bebé que se consideren adecuadas, la tableta digital se colocará a lo largo de 0 a 4 pasos de donde se encuentre el bebé en la forma en que se crea más conveniente de acuerdo al lugar.

Tanto como los sensores como la tableta digital se dejarán sin moverse hasta que se capture un evento. Un evento es la captura de uno de los tipos de sonidos que están especificados en el formato de captura de eventos, también proporcionada como material. Se espera que al menos se registren cuatro eventos diarios.

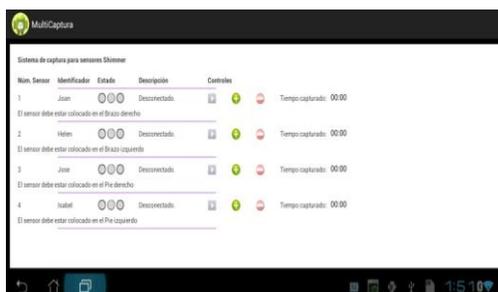


Figura 5. Sistema *multi-captura*.

Fase de Evaluación.

Esta fase tiene como objetivo evaluar el grado de asertividad que presentará el sistema *4Care Monitor*. La fase inicia con la entrega del equipo y termina en 3 semanas.

Para la evaluación, se utilizarán 1 sensor de movimientos y una tableta digital con la aplicación funcionando llamada *4Care Monitor*. El sensor se colocará en una extremidad del bebé que se considere adecuada, la tableta digital se colocará a lo largo de 0 a 4 pasos de donde se encuentre el bebé en la forma en que se crea más conveniente de acuerdo al lugar.

Tanto como los sensores como la tableta digital se dejarán sin moverse hasta que se capture un evento. Durante el desarrollo se capturará al menos en 2 ocasiones los tipos de sonidos que están especificados en el formato de evaluación. Además se realizará 1 entrevista semanal para explorar el uso del sistema *4Care Monitor* e identificar las oportunidades que puedan existir para mejorar su uso.

BENEFICIOS

Beneficios de la investigación

Los beneficios potenciales para usted si participa en este estudio incluyen un apoyo económico de 100 dólares por completar de manera correcta el procedimiento arriba citado.

Beneficios a otros y a la sociedad

Esperamos que lo evaluado por medio de este procedimiento ayude a los investigadores a crear tecnología especializada de apoyo a los padres para inferir el lenguaje de los bebés. Esta tecnología tiene el potencial para mejorar la calidad de vida tanto del bebé como de los padres de familia.

TERMINACIÓN DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

Usted es libre de dejar el estudio en cualquier momento. **Si usted decide dejar el estudio deberá avisar al equipo de investigación** inmediatamente.

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Nos gustaría audio grabar las entrevistas que le realicemos. Si usted está de acuerdo en que se audio graben, dichas grabaciones serán manejadas por el equipo de investigación en estricto orden confidencial. Únicamente el equipo de investigación tendrá acceso a ellos. Nosotros transcribiremos las audio-grabaciones eliminando su nombre y cualquier información que revele su identidad. Si usted así lo desea puede participar en el estudio y no ser audio grabado durante las entrevistas. Si usted no está de acuerdo en que se realicen las audio-grabaciones, nosotros tomaremos notas de las entrevistas.

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar el equipo de investigación son los únicos que tienen la autorización de acceso a los datos, según los términos de confidencialidad mencionados. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre su identidad no será voluntariamente revelada por el equipo (que tendrán acceso a los datos) sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad.

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos para futuras investigaciones.

SI USTED TIENE ALGUNA PREGUNTA

Si tiene comentarios, dudas, preocupaciones con respecto a la forma en la que se llevará a cabo el estudio por favor contacte al equipo de investigación listado al inicio del presente documento.

ACUERDO DE PARTICIPACION VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en este estudio es voluntaria.** Usted puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento. Su firma indica que usted ha leído la información en este documento de consentimiento y ha tenido la oportunidad de hacer cualquier pregunta que tenga sobre el estudio.

Estoy de acuerdo en participar en el estudio.

Firma

Fecha

Nombre

Firma del investigador

Fecha

Nombre del investigador