

# Capítulo 1

## Introducción

La comunicación es una piedra angular en el desarrollo del hombre, no sólo como individuo sino también para formar una sociedad. La importancia que el ser humano le ha dado a esta herramienta se puede observar en la tecnología que se creó durante el último siglo y que actualmente sigue desarrollándose, durante este intervalo de tiempo se han inventado objetos como el teléfono, el cinescopio, el avión, la computadora, el internet, los smartphones, redes sociales, videollamadas, por mencionar algunos. Los inventos mencionados anteriormente no fueron los únicos que se desarrollaron durante ese siglo y puede que tampoco sean los más representativos o significantes de su tiempo; sin embargo, al analizar la función de cada uno de ellos se puede observar que todos tienen la característica común de estar enfocados en facilitar la transmisión de ideas, intercambiar información de manera más eficiente, conectar un punto A con un punto B y mantener el contacto entre las personas; es decir, su objetivo principal es aumentar y mejorar la comunicación.

El diccionario de La Real Academia Española (RAE) define a la comunicación como

“la transmisión de señales mediante un código común entre un emisor y un receptor”, los cuales utilizan a su vez un canal específico por donde pasará la información que se desea dar a conocer. Utilizando esta definición se pueden hacer dos observaciones importantes:

1. Para que exista una comunicación eficaz entre el emisor y el receptor debe existir forzosamente un código común para ambas partes; es decir, ambos individuos deben saber interpretar este código. Un ejemplo de esto sería la conversación que se puede dar entre dos personas de habla hispana y la que ocurriría entre dos personas de diferente país y que sólo saben hablar su lengua materna.
2. Hay múltiples canales de comunicación que el ser humano utiliza para transmitir información, entre ellos tenemos la comunicación escrita, la comunicación oral y la expresión abstracta de las artes (música, teatro, pintura, escultura, etc), inclusive se ha creado un idioma a base de gestos y ademanes para que las personas que sufren de alguna discapacidad para hablar puedan participar en conversaciones.

El ser humano ha sido definido, por algunas ciencias sociales como la antropología y la psicología; como el ser social por excelencia. A diferencia de numerosas especies animales que son capaces de sobrevivir por sí mismas desde su nacimiento hasta su muerte, como por ejemplo: tiburones, la mayoría de los reptiles, algunas especies de aves y pocos mamíferos; el ser humano requiere vivir con sus semejantes en todas las etapas de su vida para así poder satisfacer sus necesidades más básicas, ya sean estas biológicas, espirituales o psicológicas.

Inclusive, se han utilizado personajes mitológicos y obras literarias (Rómulo y Remo,

Tarzán, Robinson Crusoe, etc.) para expresar o demostrar esa incapacidad que tiene el hombre de sobrevivir sin ayuda o la depresión que conlleva no poder convivir y comunicarse con sus semejantes. En el mito de Rómulo y Remo y en la novela de Tarzán se puede observar que los personajes principales hubieran sido incapaces de sobrevivir sin ayuda debido a su corta edad.

Los conceptos que se han descrito hasta ahora sirven para respaldar una verdad ineludible para el ser humano: somos incapaces de vivir fuera de una comunidad y somos incapaces de formar una comunidad sin saber como comunicarnos. Sin embargo, cuando el ser humano es un neonato esta necesidad de vivir en sociedad se maximiza debido a la nula capacidad que se tiene para comunicar sus necesidades utilizando cualquiera de los métodos de comunicación previamente mencionados, el único recurso que tiene el infante para informar a sus progenitores o quién lo este cuidando de que tiene hambre o dolor es a través del llanto.

Lamentablemente; el comunicarse a través de un llanto conlleva el problema de que el código no es común para ambos individuos. Para una madre experta o una persona con experiencia en el cuidado de infantes, no conlleva tanta dificultad identificar la necesidad del niño a partir de las sutiles diferencias del llanto. Sin embargo, para una persona menos experimentada esto no resulta tan fácil y puede generar estrés no saber cómo calmar al infante. En consecuencia, este estrés no sólo afecta a la persona al cuidado del niño, sino también es resentida por el niño mismo.

En consecuencia, alrededor de los años 60 se empezaron a realizar investigaciones para desarrollar métodos que permitieran identificar e interpretar esos cambios sutiles en cada

llanto a fin de encontrar un patrón capaz de determinar la causa del mismo o incluso, diagnosticar alguna patología física en el infante.

## **1.1. Justificación**

Este trabajo de tesis propone desarrollar una nueva metodología para el análisis de llantos de infantes. Existen numerosas técnicas recomendadas por doctores y personas con experiencia en el cuidado de los niños, útiles para calmar al niño en el momento que empiece a llorar o evitar que llore por alguna razón en específico. Por ejemplo, se recomienda darle de comer cada tres horas y revisar con regularidad si el pañal está sucio. Estas técnicas se basan en la experiencia y son falibles, pues muchas veces es un proceso de prueba y error hasta que se haga algo que logre calmar al niño, esto se debe a que se desconoce la verdadera causa del llanto.

El análisis de llantos no sólo permitiría descifrar si el niño está llorando por necesidades básicas como el tener hambre o sentir dolor, sino que además se ha demostrado que es posible diagnosticar ciertas patologías físicas al analizar la onda sonora de su llanto, esto se debe a los numerosos órganos que se encuentran involucrados durante el llanto, como por ejemplo: el corazón, los pulmones, la laringe, la faringe.

La justificación para la creación de un nuevo método que permita analizar los llantos de niños, se basa en la necesidad de elevar los porcentajes de aceptación de los métodos actuales, además de utilizar algoritmos fáciles de implementar y capaces de ser utilizados por microprocesadores de bajo costo. En vez de recurrir a métodos iterativos para calmar

al niño, en un futuro podrían utilizarse dispositivos que nos permitan saber las medidas a considerar para el bienestar del pequeño.

El método propuesto seguirá la estructura tradicional para encontrar patrones en las señales, la cual se basa en utilizar métodos de análisis y extracción de características junto con un método clasificador. En este caso, se propone utilizar estructuras ARMA y las Series de Volterra junto con algoritmos *boosting* para lograr el objetivo establecido.

Se utilizará el software de MATLAB para implementar los algoritmos previamente mencionados con la finalidad de realizar las pruebas pertinentes, así como muestras de llantos que permitan comprobar la efectividad del método propuesto.

## 1.2. Objetivos

El objetivo general de este proyecto consiste en desarrollar un nuevo método que, mediante el uso de algoritmos de extracción y clasificación, sea capaz de identificar el tipo de llanto al cual pertenece una señal de entrada con la máxima precisión posible. Por lo tanto, se espera que en el futuro este nuevo método sea capaz de interpretar los llantos con una precisión mayor respecto de los métodos probados con anterioridad.

Tomando en cuenta lo anterior, este trabajo permitirá aportar una solución eficiente y novedosa aunque no definitiva, la cual permitirá determinar la causa del malestar de niños recién nacidos a través del análisis de sus llantos, facilitando así la comunicación entre madre-hijo, pediatra- niño, etc. Además, la posibilidad de captar con mayor rapidez el malestar del niño ayudará a evitar problemas de salud debido a la falta de alimento

o en otro rubro, saber si el niño siente dolor. Por último, al ser este tipo de análisis de carácter no invasivo, sumado a su capacidad de emitir un veredicto en poco tiempo, reporta numerosas ventajas al momento de su aplicación.

### 1.2.1. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Realizar una comparación entre los métodos existentes para el análisis de llantos.
- Comprobar la utilidad que tienen las características no lineales para incrementar el porcentaje de precisión de un clasificador.
- Analizar el uso de una estructura ARMA y las Series de Volterra como métodos de extracción de características, así como el uso de algoritmos *boosting* como método clasificador.
- Diseñar un sistema embebido capaz de interpretar los llantos de los infantes utilizando el método desarrollado. El diseño de este sistema depende totalmente del porcentaje de éxito que se obtenga al realizar pruebas con el método propuesto, por lo que la búsqueda de componentes (micrófonos o microprocesadores, por ejemplo) que aseguren una interpretación eficaz, eficiente y que además sean de bajo costo, se reserva como un trabajo a futuro.

### 1.3. Metodología

El proceso para identificar llantos de niños recién nacidos está dividido en 3 etapas importantes: la adquisición de las señales, la extracción de características y la clasificación de las mismas. En la Figura 1.1 se puede observar la metodología que se realizará durante este trabajo para lograr el objetivo especificado, en este diagrama se agregó una cuarta etapa la cuál comprende el procesamiento de la señal.

En este caso, para la adquisición del llanto se utilizaron dos bases de datos propiedad del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE); una de estas bases de datos está conformada por 3 matrices en formato ".mat" que contienen las características lineales y no lineales de tres tipos de llantos diferentes: Asfixia, Sordera y Normal. El segundo archivo contiene 100 llantos guardados en archivos con el formato ".wav" con una duración total de 1 segundo por archivo, se sabe que 50 de estas grabaciones fueron causados por hambre mientras que las otras 50 se debieron a que los infantes sentían dolor; es importante mencionar que estos llantos fueron grabados por médicos capacitados en el cuidado de niños.

Durante este experimento se incluyó la etapa de procesamiento de la señal, debido a que para extraer las pruebas se requiere que la frecuencia de muestreo ( $F_s$ , *Sample frequency*) sea de 8000 Hz. Algunos de los llantos utilizados lo largo de la presente investigación tenían una frecuencia diferente y por eso se necesitó utilizar el comando "resample" de MATLAB para asegurar que tuvieran la  $F_s$  deseada.

En la etapa de extracción de las características se debe de cargar a MATLAB un archivo ".wav" que contenga el llanto de un niño. Posteriormente, se analiza con la ayuda de

dos Toolbox: estos algoritmos extraen las características que se necesitarán para clasificar la señal en la última etapa.

En la etapa de clasificación de la señal, se utilizarán las matrices que se obtuvieron con los algoritmos implementados en MATLAB durante la extracción de características y con la ayuda de un algoritmo clasificador se determinará a qué tipo de llanto pertenece, tomando en cuenta el número de aciertos y errores que tenga el algoritmo podremos obtener un porcentaje de clasificación, el cual nos indicará que tan eficaz es el método clasificador. Dado que en este experimento nos interesa saber si las características no lineales incrementan dicho porcentaje, se harán dos pruebas: una en donde se excluya la parte no lineal y la segunda en donde sí se incluya, de modo que podamos observar si existe alguna diferencia entre las pruebas realizadas.

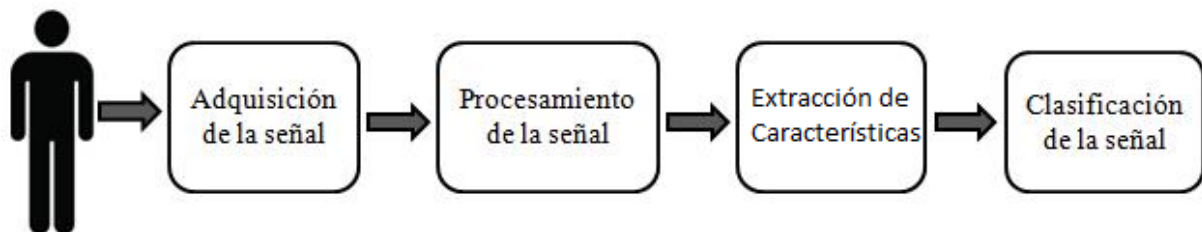


Figura 1.1: Etapas para el análisis de llantos



## 1.4. Estado del arte

El intentar solucionar este problema no es exclusivo de los tiempos modernos, desde hace casi 50 años se han propuesto diversos métodos y técnicas para encontrar la manera más eficiente para decodificar el mensaje transmitido por el bebé a través de su llanto. Se tiene registrado que en el año de 1960 se realizó el primer estudio espectroscópico de llantos, llevado a cabo por los investigadores Wasz y Hockert; como resultado se logró separar los llantos en enojo, dolor y hambre [Verduzco Mendoza and Arch-Tirado, 2012].

Entre los trabajos más recientes relacionados con este tema se encuentra el análisis espectro gráfico de llantos de niños realizado en el año 2011 en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), con el objetivo de detectar asfixia neonatal, problemas respiratorios, desórdenes neurológicos y problemas auditivos [Verduzco Mendoza and Arch-Tirado, 2012].

Durante el 2012 se desarrolló en Malasia la propuesta de utilizar un análisis de tiempo-frecuencia basado en la transformada corta de Fourier (STFT) y redes neuronales probabilísticas y de regresión general para identificar asfixia en el llanto de neonatos [Hariharan and Saraswathy, 2012]. En el 2013 se realizó un proyecto en el Instituto de Tecnología Hindú en Kharagpu, cuyo objetivo era desarrollar un sistema embebido que permitiera clasificar los llantos de los neonatos en 4 categorías (hambre, dolor, pañal sucio y otros) utilizando los coeficientes cepstrales en las frecuencias de Mel (MFCC), la implementación de Máquina de vectores de soporte (SVM) y el sistema operativo Android. El sistema desarrollado tuvo un 56% de precisión en la clasificación de los llantos [Saha and Kumar, 2013]. Se han utilizado muchos más métodos para solucionar este

problema, cada uno con su respectivo porcentaje de éxito, entre ellos se encuentran los siguientes:

- El estudio realizado por los investigadores Orozco y Reyes, en donde se propuso utilizar una red neuronal y el método de extracción MFCC, con este método se logró obtener un resultado de 97.43% .
- La aplicación para celulares iPhone desarrollada por la empresa Biloop Technology, que permitía clasificar el motivo del llanto en diferentes categorías [Saha and Kumar, 2013].
- El estudio realizado en el Instituto Hindú de Tecnología Kharagpur en el que se utilizó el método MFCC y los residuos MFCC para extraer las características de la señal y el modelo mixto gaussiano para clasificar los resultados [Singh and Mukhopadhyay, 2013].

La interpretación de llantos es una habilidad que se puede adquirir; sin embargo, es un proceso que requiere bastante tiempo y mucha práctica, por lo que lo conveniente sería tener método automático para analizar los llantos y evitarse el largo proceso de aprendizaje.

En general, todas las soluciones antes mencionadas están divididas en dos partes, primero se extraen ciertas características del llanto del bebé a través de un análisis en tiempo-frecuencia y posteriormente se clasifican dichas características utilizando algún tipo de red neuronal o modelos de aprendizaje automático para identificar el motivo del llanto. Los análisis de señales en tiempo-frecuencia son técnicas que se utilizan cuando la frecuencia varía conforme pasa el tiempo, por lo tanto permiten obtener mayor cantidad de información que un análisis en frecuencia o uno en tiempo por separado. Los análisis

en tiempo describen el cambio de una señal conforme el tiempo incrementa, los análisis en frecuencia permiten entender todos los componentes que conforman una señal durante un pequeño intervalo de tiempo y el análisis en tiempo-frecuencia junta ambos métodos. En el libro Time-Frequency Signal Analysis [Boashas, 1992] se explica con un ejemplo sencillo qué son los análisis en tiempo-frecuencia, el autor indica que si le decimos a alguien que el color del cielo está formado por diferentes tonalidades entonces estamos haciendo una descripción de la frecuencia, pero si determinamos que el cielo es azul durante la mañana, rojo por la tarde y oscuro por la noche, entonces estamos haciendo una descripción de frecuencias con respecto al tiempo.

Año	Investigadores	M. Extracción	M. Clasificación	% de éxito	T. llantos
2005	Barajas y Reyes	MFCC	Boosting NN	96.41 %	H y D
2011	Hariharan y Yaacob	Wavelets	PNN	99 %	N y P
2011	Orozco y Reyes	MFCC	NN	97.43 %	A
2012	Hariharan y Saraswathy	STFT	RNN	98.03 %	A
2013	Avinash y Jayanta	MFCC y RMFCC	GMM	61 %	H, D y PS
2013	Biswanath y Parimal	MFCC	SVM	56 %	H, D, PS y O

Tabla 1.1: Estado del arte

En la Tabla 1.4 se utilizaron claves en la parte de “Tipos de llantos”, este caso las letras utilizadas significan lo siguiente: A es Asfixia, D es Dolor, PS es Pañal Sucio, N es Normales, P es Patologías y O es Otros.