

**Aproximación a la interpretación del mensaje contenido a partir de parámetros acústicos en llanto de neonatos**  
*Approach to the interpretation of the message contained from acoustic parameters in newborn crying*

**Ing. Guillermo Javier Benitez-Labori, <https://orcid.org/0000-0003-0971-0108>**

*guillermo.benitez@desoft.cu*

**Empresa de Aplicaciones Informáticas Desoft, Santiago de Cuba, Cuba**

### Resumen

Se considera un neonato al niño desde el momento del nacimiento hasta completar veintiocho días después del parto, período en el que pueden manifestarse disímiles sintomatologías clínicas; donde una de las formas de comunicar lo que le acontece al niño es el llanto. Este trabajo centra su atención en el campo de las **Redes Neuronales Artificiales (RNA)**, específicamente **supervisadas**; siendo su Objetivo implementar una RNA supervisada Back-Propagation (BP) para clasificar el llanto en neonatos con Hipoxia a partir de parámetros acústicos. Se busca que a través de estas redes se pueda clasificar el llanto infantil de un neonato en llanto normal o patológico. La estructuración de esta investigación se sustenta, entre otros, en el método histórico-lógico el cual implica toda la modelación de la RNA que posibilita el principal resultado: la obtención de un clasificador de llanto (normal-patológico) usando RNA.

**Palabras clave:** Análisis del llanto infantil, clasificación de llanto, llanto provocado ante dolor, parámetros acústicos cuantitativos, red neuronal artificial, RNA feed-forward supervisadas.

### Abstract

The child is considered a neonate from the moment of birth until completing twenty-eight days after delivery, a period in which dissimilar clinical symptoms may manifest; where one of the ways of communicating what happens to the child is crying. This work focuses on the field of Artificial Neural Networks (ANN), specifically supervised; Its objective being to implement a supervised RNA Back-Propagation (BP) to classify crying in neonates with Hypoxia from acoustic parameters. It is intended that through these networks the infant cry of a newborn can be classified into normal or pathological

crying. The structuring of this research is based, among others, on the historical-logical method which involves all the modeling of the ANN that enables the main result: obtaining a crying classifier (normal-pathological) using ANN.

**Keywords:** Infant cry analysis, cry classification, provocation cry, quantitative acoustic parameters, artificial neural networks, ANN feed-forward.

### **Introducción**

Lo propio del período neonatal es la adaptación que exige el paso de la vida intrauterina a la extrauterina. Son múltiples los cambios que afectan al neonato en esta etapa. La patología neonatal es, en general, un problema de adaptación en alguno de los sistemas del recién nacido. Durante las primeras horas de vida se producen cambios importantes en la adaptación del neonato al medio extrauterino. Hay variaciones en su frecuencia respiratoria, cardíaca, en su estado de alerta y actividad motora lo cual es planteado, por autores como: Rivera et al. (2018), Cépedes (2016), Tisné et al. (2020), Gutiérrez et al. (2019) y Ararat et al. (2020).

Tisné et al. (2020) y Gutiérrez et al. (2019) entre otros indican que las necesidades biológicas del neonato son manifiestas con el llanto, con ello exterioriza que algo le ocurre, comienza así a interactuar con el mundo circundante especialmente con la madre que es la que más tiempo pasa con él. El llanto es un modo con que el neonato puede expresar su estado de ánimo, por tanto, constituye una problemática esta forma de comunicación, y como primera premisa hay que entender que el llanto es el lenguaje del recién nacido es uno de los vehículos que tiene para comunicarse con su entorno.

Autores en el tema, entre ellos: Barr et al. (2001), Corwin et al. (1996), Michelsson (1996), consideran al llanto del neonato como la primera manifestación del habla, una de las distintas maneras con que el neonato puede expresar su estado de salud. Las causas fisiológicas, no patológicas, del llanto en el neonato son evidentes para los padres, por lo que no suelen ser motivo de consulta médica. En tal sentido Cépedes (2016) indica que esto no siempre da la capacidad de diferenciar la causa, aun cuando el neonato no sufra una enfermedad.

En la tesis de doctorado del Dr. C. Profesor Titular, Ing. Daniel Isac Escobedo Beceiro se expresa:

Investigaciones acerca del llanto infantil han permitido correlacionar características acústicas de éste con diversas patologías, demostrándose que el llanto infantil puede reflejar la integridad neurofisiológica del niño, el que como fenómeno biopsicosocial da una medida de la interacción del niño con el ambiente y de su desarrollo cognitivo y social. (Escobedo, 2006, p. 7)

Así a través del llanto se correlacionan diversas patologías, entre las que se encuentran el “Maullido del Gato, Síndrome de Down, Hiperbilirrubinemia, Encefalitis, Meningitis, Asfixia y diversas formas de daño cerebral” (Escobedo, 2006, p. 13) donde un aspecto clave son los:

Factores como la prematuridad, el bajo peso al nacer, desnutrición, complicaciones obstétricas, el consumo de drogas en estado de gestación, entre otros, que conllevan a riesgos y a la aparición, en diferente momento del desarrollo del niño, de limitaciones diversas como motoras, cognitivas, etcétera, han sido y continúan siendo estudiadas a partir del llanto infantil. Son objeto de estudio, para mayor comprensión, los mecanismos de producción del llanto, los modelos que describen la anatomía y fisiología del control neurológico y de la producción del llanto, los que permiten sustentar hipótesis acerca de la correlación entre las características acústicas del llanto y el desarrollo predictivo del niño. (Escobedo, 2006, p. 13)

Según lo anterior, prima la idea de la correlación del llanto con el desarrollo del niño por lo cual, a partir del llanto, se puede estimar usando un conjunto de parámetros la presencia de algún estado patológico, como, por ejemplo: la Hipoxia o alguna patología relacionada con ésta. Desde esta perspectiva médica el estudio e intervención en la detección de patologías en etapas tempranas del neonato es uno de los retos a vencer para las ciencias médicas constituyéndose en trabajo obligado. Otra razón para investigar este tema por las ciencias médicas y otras ramas del conocimiento radica en la necesidad de contribuir a mejorar la calidad de vida de recién nacido, porque algunas acciones son sencillas, de bajo costo y alta efectividad, pero otras requieren de mucha tecnología e intervención. La aplicación de estas acciones en forma correcta y oportuna impactará en la disminución de la morbilidad y mortalidad neonatal.

Por eso desde las ciencias técnicas el uso de algoritmos matemáticos en la pretensión de clasificar señales de llanto (normal-patológico) mediante parámetros acústicos de estas señales provocado ante dolor en neonatos con algún tipo de Hipoxia, es el Objetivo

General de este trabajo, ya que pueden ser las RNA una forma de constituir una aproximación respecto a la validez del estudio que se esté efectuando con un determinado caso de clasificación de llanto. De esta forma estas redes son un vehículo potencial para ayudar a explorar la posible presencia de estado patológico o no en el recién nacido y ofrecer alguna ayuda al diagnóstico médico basado en análisis del llanto.

Por esta razón un elemento central es el desarrollo de un mecanismo computacional que permita la extracción de la información presente en el llanto, lo cual contribuiría considerablemente en la ayuda al diagnóstico médico. Un sistema computacional con tales capacidades, debe ser implementado con tecnologías de vanguardia, que permita mostrar cierto comportamiento inteligente y de utilidad en la clasificación del llanto en los neonatos.

El obtener un mecanismo computacional inteligente son las razones expuestas que dieron la aparición de las pruebas de clasificación por comparación de rangos de parámetros del llanto infantil con RNA, demostrando su potencialidad en la clasificación del llanto, y en aras de una optimización de éstas pruebas, Escobedo propone la: “Metodología de Análisis de Llanto Orientado al Diagnóstico de Patología en el Neurodesarrollo Infantil, aplicada a recién nacidos, sobre la base de Hipoxia” (Escobedo, 2006, p. 7).

En tal sentido, autores como Barnden (1998), Del Brio y Sanz (2006), Simpson (1996), Tan et al. (2007) consideran que las RNA constituyen un esquema formal de organización de aprendizaje y procesamiento automático, es un campo de la ciencia de la computación referido al intento por descubrir patrones en un conjunto de datos. Utiliza los métodos de la inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística y sistemas de bases de datos. El objetivo general de las RNA consiste en extraer información de un conjunto de datos y transformarla en una estructura comprensible para su uso posterior.

En esta misma senda encontramos reflexiones sobre las RNA por otros autores como: Ahmad y Iqbal (2018), Brito y Frutuoso (2019), Cárdenas y Alfaro (2014), Castillo et al. (2016), De la Hoz y Fontalvo (2019), García et al. (2019), donde se explica que estos sistemas imitan esquemáticamente la estructura biológica (neuronal) del cerebro

humano para tratar de reproducir algunas de sus capacidades. Las RNA son herramientas de análisis, modelización, predicción y clasificación usadas en disímiles ambientes brindando resultados satisfactorios según estudios realizados; se encuentran integradas en áreas como: robótica, ingeniería, psicología, economía, medicina, etc.

De este modo en sus aplicaciones en cada ámbito las RNA adoptan connotaciones diferentes, y son vistas como herramientas de la ingeniería, réplicas del pensamiento racional. Ejemplos del uso de estos algoritmos son: Diagnostico de tumores de mama (A. Galindo et al., 2020), realización de una prueba neonatal denominada (tamizaje neonatal masivo) cuyo objetivo de la misma es detectar y prevenir enfermedades congénitas, hereditarias y metabólicas que afectan el crecimiento y desarrollo normal del niño (Pla & Irizar, 2019), predicción morfológica de las mandíbulas contando con variables craneomaxilares con fines forenses entre otros (Sandoval et al., 2016), en aras de lograr el mejoramiento de la salud del ser humano se usan también estos algoritmos en: la identificación del parpadeo ocular y dolor muscular en el brazo derecho ocasionado por un agente externo a partir de señales encefalográficas (Sepúlveda et al., 2015), uso de modelos neuro-difusos para extraer las características cualitativas acústicas más representativas de la onda del llanto de neonatos (Reyes et al., 2018), tesis de maestría para reconocer tres tipos de llanto: normal, patológico con hipoacusia y asfixia (Amaro, 2008), análisis de unidades de llanto infantil (A. Castillo et al., 2001), determinación de la probabilidad de mortalidad hospitalaria haciendo uso de modelos de predicción de mortalidad hospitalaria que se emplean de forma habitual en los enfermos que ingresan en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) (Trujillano et al., 2005), para predecir la aparición de la fiebre (Colás, 2019).

Todos estos ejemplos ilustran y demuestran la importancia, utilidad y relevancia de estos algoritmos en aras de aportar beneficios a la sociedad en diferentes órdenes, cuestión que llevó a que las patologías y factores que se traslucen a través del llanto fueran investigadas también desde hace varias décadas por diferentes equipos multidisciplinarios de varios países de la Península Escandinava, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Italia, México y Cuba; los cuales se han dedicado a estudiar el llanto infantil para detectar estados anímicos o fisiológicos como hambre, dolor, incomodidad

o sueño, entre ellos se puede citar a Donzelli et al. (1994), Michelsson y Michelsson (1999), Orozco y Reyes (2000), Orozco y Reyes (2003).

Estos equipos llevaron a cabo importantes estudios mediante análisis auditivo y espectrográfico, entre otros, de llantos normales y patológicos, relacionando parámetros anormales del llanto con problemas médicos. También estudió de llanto provocado, ante estímulo de dolor, de niños con Asfixia y daño cerebral, y sus características acústicas y perceptuales; la descripción de estos parámetros del llanto ante estímulo de dolor. En diversos trabajos de clasificación del llanto, utilizaron RNA y otros algoritmos.

En correspondencia con lo anterior, un colectivo interdisciplinario creado alrededor del Grupo de Procesamiento de Voz (GPV) de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE), de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, basados en la experiencia y trabajo de investigadores Escandinavos, se dieron a la tarea, desde las ciencias técnicas, de estudiar el llanto, desarrollando investigaciones desde hace varios años, siendo representada entre ellos, por solo citar algunos ejemplos por: Cano et al. (1999), Diez et al. (1999), Escobedo et al. (2015), Torres et al. (2000), Torres et al. (1999). Para estas investigaciones se tomaron muestras de diferentes tipos de Hipoxia: Hipoxia, Crecimiento Intrauterino Retardado (CIUR), Hipoxia con factores agravantes e Hiperbilirrubinemia.

En este sentido en el 2013 es defendida: Gámez de la Rosa (2013) *Diseño e implementación de una herramienta de software para extraer los desplazamientos ascendentes de frecuencia en el tono del llanto infantil* [Tesis de maestría, Universidad de Oriente: CENPIS, Santiago de Cuba], tesis tutorada por el profesor Escobedo. Años después se defienden dos trabajos de diploma para el título de Ingeniería en Informática, los cuales fueron tutorados por el Dr.C. Sergio D. Cano Ortiz perteneciente al GPV y la Lic. Yadisbel Martínez Cañete profesora del departamento de Ingeniería en Informática, respectivamente. La primera de estas tesis es defendida en el 2017 con el título: Monteagut (2017) *Clasificación del llanto infantil usando técnicas de minería de datos* [Trabajo de grado, Universidad de Oriente: Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Informática, Santiago de Cuba], la otra tesis se defiende en el 2018 con el título: Veranes (2018) *Análisis comparativo de clasificadores de minería de*

---

*datos basado en parámetros temporo-frecuencial* [Trabajo de grado, Universidad de Oriente: Facultad de Ing. en Telecomunicaciones, Informática y Biomédica, Departamento de Informática, Santiago de Cuba]. Ambas tesis aportan información al doctorado de Yadisbel Martínez Cañete, con el título: “Clasificación de llanto infantil orientado al diagnóstico neonatal”.

### **Métodos o metodología**

Con los métodos teóricos de la investigación científica, se analizó las diferentes partes y cualidades de estos algoritmos matemáticos, o sea todo lo relacionado a la cantidad de neuronas artificiales presentes en las diferentes capas (capa de entrada, capa oculta y capa de salida) que tenga el modelo, el número de capas ocultas donde se realiza el computo, cuestiones que definen una correcta arquitectura o topología. Se estudiaron toda la gama de funciones de activación o transferencia de datos que propician el flujo de la información entre las capas del modelo que de conjunto con el algoritmo o regla de aprendizaje propicia que la RNA sea entrenada correctamente, y con ello se pueda generalizar con ella, entre otros aspectos. Con esto se descubre las múltiples relaciones y componentes de las RNA, esto revela la unión de aquellas partes que resultaron evaluadas de esenciales. Lo que permitió inferir que las propiedades de las RNA juegan un papel fundamental en la formulación de la hipótesis de esta investigación; o sea implementar una correcta arquitectura o topología de RNA juega un papel primordial en el estudio que se esté realizando usando las RNA. Por último, el conocimiento cronológico de estos algoritmos, la evolución y desarrollo de ellos reveló las etapas principales del desenvolvimiento y las conexiones históricas fundamentales. Las partes lógicas de las leyes generales del funcionamiento y desarrollo de estos algoritmos (regla de aprendizaje) manifestó la lógica interna de su desarrollo y de su teoría, con lo cual se pudo llevar a cabo la modelación e implementación del clasificador de llanto basado en RNA supervisada.

Por lo cual, para la clasificación de llanto en neonatos con Hipoxia a partir de parámetros acústicos, esta investigación usa las RNA para generar clases (normal-patológico), dado las potencialidades de las RNA como un intento más de la clasificación del llanto en aras de un apoyo al diagnóstico médico. En la investigación se usa específicamente una RNA supervisada Back-Propagation y el algoritmo o regla

de aprendizaje Levenberg Marquardt para clasificar el llanto (normal-patológico) provocado ante dolor en neonatos con Hipoxia, empleando parámetros acústicos de ese llanto. Estas redes están basadas en el modelo matemático **perceptrón multicapa**, siendo redes unidireccionales organizadas en capas feed-forward o de alimentación hacia delante y con aprendizaje supervisado. El **perceptrón multicapa** usa el algoritmo **Back-Propagation (BP)**, retropropagación de errores, y derivado del BP, está entre otros, el algoritmo **Levenberg Marquardt (LM)**, denominado método de segundo orden, ya que puede acelerar su convergencia hacia el resultado.

Por el objetivo del análisis de los datos de este trabajo, el algoritmo utilizado es del tipo supervisado, Del Brio y Sanz (2006), estos algoritmos supervisados o predictivos, predicen un dato o conjunto de ellos desconocido a priori, a partir de otros conocidos.

Las características de los datos usados en toda la modelación son el registro de llantos de 30 neonatos, son grabaciones de señales acústicas que forman una base de datos de un conjunto de casos reales estudiados en el hospital con llanto provocado ante dolor. De los 30 casos, 20 señales de llanto se usan en la fase de entrenamiento (10 de casos con llanto normal y 10 de casos con llanto patológico). En la fase de generalización se usan 10 señales de llanto (5 de casos con llanto normal y 5 de casos con llanto patológico). Se generaliza también con casos nombrados **virtuales** Escobedo (2018), siendo el conjunto de estos casos de 10, de éstos 5 casos virtuales normales y 5 casos virtuales patológicos. Para las grabaciones son considerados aspectos como los que aparecen a continuación.

### **Llanto infantil del neonato**

El término **llanto** referido al de un neonato en general describe el: “sistema de señales que comienza en el nacimiento, que puede alertar a los adultos, que puede ser generado como necesidad del sistema vegetativo” (Escobedo, 2006, p. 31).

El llanto no sólo es una forma de comunicación con la consiguiente implicación en vocalizaciones en los comienzos y desarrollo del lenguaje humano, sino que es un evento acústico que contiene información acerca de la integridad neurológica y del funcionamiento del Sistema Nervioso Central. (Escobedo, 2006, pg. 31)

En el llanto patológico:

el llanto puede llamar la atención como no normal cuando es prolongado, el cual puede hacer daño al sistema cardiovascular, incluido el flujo sanguíneo al cerebro, puede además dañar al sistema endocrino. También hay reportes de taquicardia (mayores a 200 pulsaciones por minuto) y disminución de oxígeno en sangre, entre otros. En fin, variaciones en cantidad y calidad del llanto en el recién nacido pueden ser señal de anormalidad. (Escobedo, 2006, pg. 31)

### **Llanto provocado ante dolor**

El llanto en un neonato puede estar condicionado por: nacimiento, dolor, hambre, placer, sueño, frío, calor, luz, ruido, etc. Los parámetros extraídos del llanto de un neonato y que son usados en esta investigación son los vinculados a la inducción del llanto provocado ante dolor, donde la estimulación usada es: pellizco en el calcáneo y puntura por vacunación o antibiótico Escobedo Beceiro D. I. (2006).

El llanto provocado ante dolor, que se estudia y utiliza por investigadores en el tema desde hace más de cuatro décadas, permite entre estos tipos de llanto, el uso de terminología común de parámetros, un análisis estandarizado y una mejor comparación de los resultados de las investigaciones para casos normales y anormales. El llanto de dolor posee un patrón característico suficientemente documentado en la literatura especializada. Este llanto, de hecho, es más práctico de implementar, es un evento controlado por el investigador. (Escobedo, 2006, pg. 38)

### **Parámetros acústicos del llanto provocado usados en este trabajo**

Los parámetros acústicos cuantitativos son (Torres et al., 1999):

Parámetros de duración en milisegundos: **PUL**: primera unidad de llanto; **SUL**: segunda unidad de llanto; **SL**: segunda latencia. Parámetros de frecuencia en Hertz (Hz) o ciclo por segundo: la Frecuencia Fundamental (F0) es la frecuencia a la cual vibran las cuerdas vocales cuando se produce un sonido. La Frecuencia del Primer Formante (F1) de un segmento sonoro, es una región de frecuencias de mayor intensidad donde se produce un reforzamiento de frecuencias que coincide con los resonadores bucales. **F0min**: valor mínimo de la frecuencia fundamental; **F0max**: valor máximo de la frecuencia fundamental; **F1min**: valor mínimo del primer formante; **F1max**: valor máximo del primer formante; **VMF0**: valor medio de la frecuencia fundamental; **VMF1**: valor medio de la frecuencia del primer formante. Por último, los Parámetros de

intensidad o amplitud en decibeles: **VMPul**: valor medio de la primera unidad de llanto; **VMSul**: valor medio de la segunda unidad de llanto.

### Resultados y discusión

Con todos los aspectos anteriores presentados, esta investigación llevó a cabo toda la implementación de esta modelación matemática arrojando un porcentaje de clasificación y generación de clases (normal-patológico) valioso lo que es validado con pruebas diagnósticas, se generaliza con una sensibilidad de 80 % (clasificación de la RNA que los casos identificados en la prueba son verdaderos patológicos), la especificidad de 100 % (clasificación de la RNA que los casos identificados en la prueba son verdaderos normales), en general porcentajes en un orden satisfactorios lo cual muestra que la red ha generalizado correctamente, se alcanza una precisión (prueba diagnóstica referida al porcentaje de todos los resultados correctos en las pruebas) de 90%, porcentaje conveniente de los resultados correctos en las pruebas de clasificación, que indica la posibilidad real de implementar un software de inteligencia artificial con interacción con bases de datos de llanto para clasificar señales acústicas de llanto con Hipoxia. La RNA converge hacia un resultado satisfactorio de generalización, entendiéndose la generalización como la capacidad de la RNA de dar una respuesta de clasificación de parámetros que no fueron usados en el entrenamiento previo de la RNA. Al existir una convergencia apropiada entre el criterio médico sobre cada caso en particular y las salidas que aporta la red cuando se generaliza con ella, se observa que el número de aciertos de la red confluye a las salidas deseadas (el criterio médico), obteniéndose un resultado en correspondencia con el criterio médico.

Con este resultado se verifica la certeza de la hipótesis de la investigación y se alcanza el objetivo general, esto implica un resultado cualitativamente superior a otras investigaciones que anteceden a esta como la de Torres (Torres et al., 1999). En esta investigación se optimizó un conjunto de funcionalidades de las RNA para la fase de entrenamiento que posibilitaron una adecuada generalización de la RNA y que en Torres y otros no se optimizó. Demostrándose la potencialidad del modelo matemático **perceptrón multicapa**.

Estos resultados expresados manifiestan un avance más en el intento de clasificar señales acústicas de llanto de neonatos, pues se obtiene un clasificador basado en RNA que genera clases (normal-patológico) a partir de señales de llanto de neonatos, aspecto que contribuye en el futuro a una posible implementación de una herramienta computacional.

Reconociendo la complejidad de este proceso y los riesgos existentes durante el proceso de configuración e implementación que se establece en alcanzar una arquitectura de RNA, que de no hacerse correctamente podría conducir a una inadecuada generalización de la red y por ende no aportar resultados prácticos adecuados a la ciencia, la tecnología y la innovación en función del desarrollo social, se evidencia como toda esta modelación matemática permite seguir perfeccionando el proceso de clasificar el llanto en neonatos (normal-patológico), revelando a la realidad social intentos de soluciones pertinentes a diversos problemas sociales y tecnológicos. Algoritmos basados en RNA pueden extrapolarse a otras investigaciones médicas y así dar una mirada como respuesta concreta a una problemática de nuestra realidad.

### **Conclusiones**

Las tendencias relacionadas con el proceso de clasificación del llanto en neonatos revelan, que este constituye un aspecto valioso e importante para elevar la calidad de vida del neonato dado al valor social que esto implica a las familias y en fin a la sociedad. Este fenómeno se traduce en fuertes implicaciones sociales, pues una persona sana desde la infancia podrá estar apta para diferentes escenarios sociales. Desde estas reflexiones, se fundamenta esta propuesta del uso de estos algoritmos matemáticos, para la clasificación del llanto de neonatos en intentos de ayudar y apoyar el diagnóstico médico, sustenta la relación entre las matemáticas, la medicina y otras áreas del conocimiento que puede contribuir al desarrollo futuro de una herramienta computacional a estos efectos, en ayuda al diagnóstico médico.

### **Referencias bibliográficas**

1. Ahmad, I., Basher, M. y Iqbal, M.J. (2018). Performance Comparison of Support Vector Machine, Random Forest, and Extreme Learning Machine for Intrusion Detection. *IEEE Acces*, 6(1), 33789 – 33795.

2. Amaro Camargo, E. (2008). *Caracterización Automática del Llanto de Bebé para su Estudio con Modelos de Clasificación*. [Tesis de maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica].
3. Ararat Navas, F., Pablo Arriagada, J., Bravo Urzúa, T., Carvajal Encina, F., Fuentes Villar, D., Gajardo Muñoz, E., Gayoso Oyarzo, C., Guerrero Guerrero, G., Guzmán Linares, D., González Peña, I., Isla Coloma, I., Letelier Muñoz, A., Mol Rebolledo, P., Nuñez García, I., Oraa, L., Karina Palmar, A., Pedreros Becerra, R., Peña Valdés, A., Pérez Yáñez, A., .... Illanes, A. (2020). *Guías de Práctica Clínica Unidad de Paciente Crítico Neonatal*. Hospital San Juan de Dios De La Serena.
4. Barnden, J.A. (1998). *Artificial intelligence and neural networks*. En Arbib 981.
5. Barr, R.G. St., Roberts, I. y James Keefe, M. (2001). *Johnson & Johnson Pediatric Round Table Scientific Conference: New Evidence on Unexplained Early Infant Crying: Its Origin, Nature, and Management*. Skillman, New Jersey: Johnson & Johnson Pediatric Institute.
6. Brito, F.J., Arantes Filho, L.R. y Frutuoso Guimaraes, L.N. (2019). Intelligent Classification of Supernovae Using Artificial Neural Networks. *Inteligencia Artificial*, 22(63), 39-60.
7. Cano O, S.D., Escobedo Beceiro, D.I. y Coello, E.F. (1999). *El uso de los mapas auto-organizados de kohonen en la clasificación de unidades de llanto infantil*. I Taller AIRENE sobre Reconocimiento de Patrones con Redes Neuronales, 24-29.
8. Cárdenas, J.P., Olivares, O. y Alfaro, R. (2014). Clasificación automática de textos usando redes de palabras. *Revista Signos*, 47(86), 346-364.
9. Castillo, D.D., Pérez, M.R., Pérez, L., Orozco, R. y Ginori, J. (2016). Algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de neuronas piramidales afectadas por el envejecimiento. *Revista Cubana de Informática Médica*, 8(3), 559-571.
10. *Educativas*, 40(130), 508-524.

11. Castillo, L., Torres, M., Chivas, P., Cano O., S., y Escobedo B., D. I. (2001). *Clasificación de unidades de llanto infantil mediante Algoritmos de Cuantificación Vectorial Adaptable*. III Taller AIRENE (CYTED) sobre Reconocimiento de Patrones con Redes Neuronales, 9-14.
12. Céspedes Argaña, E. (2016). *Manual de Atención Neonatal*. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. Asunción – Paraguay.
13. Colás Herrera, J. C. (2019). *Aplicación de Modelos de Redes Neuronales a la Predicción de la Fiebre* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid].
14. Corwin, M.J., Lester, B.M. y Golub, H.L. (1996). *The infant cry: What can it tell us?* Current Problems in Pediatrics.
15. De la Hoz, E.J., Fontalvo, T.J. (2019). Metodología de Aprendizaje Automático para la Clasificación y Predicción de Usuarios en Ambientes Virtuales de Educación. *Información Tecnológica*, 30(1), 247-254.
16. Diez, H.R., Torres, A.M., Escobedo Beceiro, D.I., Cano O., S.D., Regüeiferos, L.P. y Capdevila, L.B. (1999). *Una primera aproximación de ayuda al diagnóstico del llanto infantil usando clasificación supervisada*. Actas-II. (VI Simposio Internacional de Comunicación Social), Editorial Oriente, 1404-1409.
17. Donzelli, G.P., Rapisardi, G., Moroni, M., Zani, S., Tomasini, B., Ismaelli, A. y Brusciaglioni P. (1994). Computerized cry analysis in infants affected by severe protein energy malnutrition. *Acta Paediatrica*, 83, 204-211.
18. Escobedo Beceiro D.I. (2006). *Análisis Acústico del Llanto del Niño Recién Nacido Orientado al Diagnóstico de Patología en su Neurodesarrollo Debido a Hipoxia* [Tesis de doctorado, Universidad de Oriente: Centro de Estudios de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Señales, Santiago de Cuba].
19. Escobedo Beceiro, D.I, Sanabria, F.M., Marañón R., E.J., Cano O., S.D., Zamora, L.M., Regüeiferos, L.P., Capdevila, L.B. y Delgado, G.G. (2015). *Clasificación del llanto del recién nacido según la frecuencia fundamental*. XIV Simposio Internacional de Comunicación Social. Comunicación Social: Retos y Perspectivas. Ediciones Centro de Lingüística Aplicada, 2, 635-640.

20. Escobedo Beceiro, D.I. (2018). *Análisis acústico del llanto del niño recién nacido: Una metodología*. Editorial Académica Española. International Book Market Service Ltd. OmniScriptum Publishing Group. Catalog of German National Library.
21. Galindo, E., A. Perdomo, J. y Figueroa García, J. C. (2020). Estudio comparativo entre máquinas de soporte vectorial multiclase, redes neuronales y sistema de inferencia neuro-difuso auto organizado para problemas de clasificación. *Información Tecnológica*, 31(1), 273-286.
22. Gámez de la Rosa R. (2013). *Diseño e implementación de una herramienta de software para extraer los desplazamientos ascendentes de frecuencia en el tono del llanto infantil*. [Tesis de maestría, Universidad de Oriente: CENPIS, Santiago de Cuba].
23. García, A.G., Rios, A.B., Teelo, E., Barrón, J.H. y Diaz, A. (2019). Aplicación de una red neuronal artificial para la clasificación automática de tuits en español. Pistas Del Brio, B., Sanz, M.A. (2006). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*. Universidad de Zaragoza.
24. Gutiérrez Padilla, J. A., Angulo Castellanos, E., García Hernández, H. A., García Morales, E., Padilla Muñoz, H., Rulfo Ibarra, D. P., Plascencia, A., Yanowsky Reyes, G., Vargas López, R., Zepeda Romero, L. C. (2019). *Manual de Neonatología*. Universidad de Guadalajara.
25. Michelsson, K., Michelsson, O. (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49(1), 297-301.
26. Michelsson, K. et al. (1996). *Crying in separated and nonseparated newborns: Sound spectrographic analysis*. Acta Paediatrica.
27. Monteagut Ferrer M. (2017). *Clasificación del llanto infantil usando técnicas de minería de datos*. [Trabajo de grado, Universidad de Oriente: Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Informática, Santiago de Cuba].
28. Orozco, G.J., Reyes García, C.A. (2000). Acoustic features analysis for recognition of normal and hipoacusic infant cry based on neural networks. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS) Springer*, 615-622.

29. Orozco, G.J., Reyes García, C.A. (2003). *Mel-frequency cepstrum coefficients extraction from infant cry for classification of normal and pathological cry with feed-forward neural networks*. Proceedings of the 2003 International Joint Conference on Neural Networks, 3140-3145.
30. Pla Martínez, G., Irizar Mesa, M. (2019). Clasificador automático de imágenes de muestras de sangre basado en redes neuronales profundas. *RIELAC*, 40(1) 18-30.
31. Reyes García, C. A., Torres García, A. A. y Ruiz Díaz, M. A. (2018). Extracción de Características Cualitativas del Llanto de Bebé y su Clasificación para la Identificación de Patologías Utilizando Modelos Neuro-Difusos. *Ciencias y Tecnologías Biomédicas*, 5(1), 106–109.
32. Rivera Miranda, M. A., Lara Latamblé, N. T. y Baró Bouly, T. (2018). Asfixia al nacer: factores de riesgo materno y su repercusión en la mortalidad neonatal. *Revista Información Científica*, 97(5), 1020-1030.
33. Sandoval, N., Guevara Pérez, T. C., González S. V., Jaque, F. A., Infante Contreras, Clementina, R. A. (2016). Uso de redes neuronales artificiales en predicción de morfología mandibular a través de variables craneomaxilares en una vista posteroanterior. *Univ Odontol*, 35(74) 1-28.
34. Sepúlveda, R., Montiel, O., Díaz, G., Gutierrez, D. y Castillo, O. (2015). Clasificación de señales encefalográficas mediante redes neuronales artificiales. *Computación y Sistemas*, 19(1), 69–88.
35. Simpson, P.K. (1996). *Artificial Neural Systems: Foundations, Paradigms, Applications, and Implementations*. New York: Pergamon Press.
36. Tan, H., Tan K.C. y Yi Z. (2007). *Neural Networks: Computational Models and Applications*. Studies in Computational Intelligence. Springer.
37. Tisné Brousse, L., Abuaud, P., Alarcón R., J., Arriagada, P., Castellanos, M., Berrios, D., Flores A., J., Fuentes, I., Gonzalez D., R., Gaínza, H., Medina, A., Montoya, I., Nachar H., R., Peña, V., Pino, P., Pizarro R., O., Ríos D., A., Rubio

- G., L., Sacaquirin W., D., .... Osorio, W. (2020). *Guías Clínicas de Neonatología*. Servicio de Neonatología Hospital Santiago Oriente.
38. Trujillano Cabello, J., Badía Castelló, M., March Llanes J., Rodríguez Pozo, Á., Serviá Goixart, L. y Sorribas Tello, A. (2005). Redes neuronales artificiales en Medicina Intensiva. Ejemplo de aplicación con las variables del MPM II. *Med Intensiva*, 29(1), 13-20.
39. Torres, A.M., Cano O., S.D., Escobedo Beceiro, D.I. y Castillo, A.L. (2000). Reconocimiento de clases en unidades de llanto infantil aplicando una red neuronal de kohonen. II Taller AIRENE sobre Reconocimiento de Patrones con Redes Neuronales, 49-52.
40. Torres, A.M., Miyar, I.F., Diez, H.R., Cano O., S.D., Escobedo Beceiro, D.I., Regüeiferos, L.P. y Capdevila, L.B. (1999). *Una aproximación al diagnóstico del llanto infantil basado en redes neuronales supervisadas*. I Taller AIRENE sobre Reconocimiento de Patrones con Redes Neuronales, 20-23.
41. Veranes V. C. L. (2018). *Análisis comparativo de clasificadores de minería de datos basado en parámetros temporo-frecuencial*. [Trabajo de grado, Universidad de Oriente: Facultad de Ing. en Telecomunicaciones, Informática y Biomédica, Departamento de Informática, Santiago de Cuba].