HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA FAVORECER EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS COMUNICATIVAS EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL

Ing. Luis Alberto Ávila Gutiérrez

Universidad Simón Bolívar

Maestría en ingeniería de sistemas y computación

Barranquilla – Colombia

2021

HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA FAVORECER EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS COMUNICATIVAS EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL

Ing. Luis Alberto Ávila Gutiérrez

Director:

Paola Andrea Sánchez Sánchez, PhD

Co-Director:

José Rafael García González, PhD

Universidad Simón Bolívar

Maestría en ingeniería de sistemas y computación

Barranquilla – Colombia

2021

RESUMEN

En el objetivo de esta investigación se suscribe proponer una herramienta tecnológica para favorecer el desarrollo de competencias comunicativas en niños con parálisis cerebral, soportado metodológicamente en los principios epistémicos del modelo sistémico estructural abordando las diferentes categorías de la teoría general de sistemas, caracterizadas y dimensionadas desde los aportes del enfoque holístico de la investigación, propuesto por Hurtado, J. (2016). Los resultados de esta propuesta resumen la determinación e identificación los elementos intervinientes en el proceso de comunicación de niños con parálisis cerebral, así como el planteamiento de un modelo de red neuronal convolucional con capacidad de plantear una alternativa interactiva para favorecer el desarrollo de las competencias de comunicación, basándose en el uso modelos pre entrenados de clasificación de imágenes.

PALABRAS CLAVES:

Competencias comunicativas - Parálisis cerebral - Redes Neuronales Convolucionales – Aprendizaje profundo.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 7

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 9

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 12

1.3 JUSTIFICACIÓN 12

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA 17

3 OBJETIVOS 24

3.1 OBJETIVO GENERAL 24

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24

4 METODOLOGÍA 25

5 MAPA DEL DOCUMENTO 26

6 IDENTIFICACIÓN DE LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y EPISTEMOLÓGICOS ASOCIADOS CON LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL. 28

7 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y METODOLOGÍAS ASOCIADAS A LA COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL. 40

8 CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES FUNCIONALES ENTRE LOS ELEMENTOS INTERVINIENTES EN EL PROCESO DE COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL 45

9 CONCLUSIONES 55

9.1 RESPUESTA A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 55

9.2 ALCANCES Y LIMITACIONES 57

9.3 RECOMENDACIONES / TRABAJOS FUTUROS 58

REFERENCIAS 59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo arquitectura red neuronal convolucional. Fuente: (Mathworks, 2020) 20
Figura 2 Clasificación de la parálisis cerebral. Fuente: (Aspace, 2014)..... 23
Figura 3 Modelo de red neuronal planteado, Fuente: Elaboración propia 41
Figura 4 Flujo de imágenes secuenciales en un video, Fuente: (Huang, Tseng, Chien, & Chien, 2019) .. 42
Figura 5 Ejemplo de codificación y decodificación de entradas en una RNC, Fuente: (Ramírez & Castaño, 2007) 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 SAAC existentes y sus características principales. Fuente: Elaboración propia 15
Tabla 2 Modelos pre entrenados de RNC. Fuente: Elaboración propia 47
Tabla 3 Características modelos pre entrenados escogidos, Fuente: Elaboración propia. 50
Tabla 4 Parámetros experimentos, Fuente: Elaboración propia..... 51
Tabla 5 Número de capas ocultas por modelo pre entrenado, Fuente: Elaboración propia..... 52
Tabla 6 Resultados de experimentos, Fuente: Elaboración propia 52

1 INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral es una enfermedad consecuente de una lesión permanente en el cerebro, no evolutiva, que se produce cuando el cerebro está en desarrollo, localizada en el Sistema Nervioso Central y provoca una alteración en el tono y la respuesta muscular, dicha lesión puede ser prenatal (durante el periodo de embarazo), perinatal (durante el parto) o postnatal (después del parto) durante los primeros 6 meses de vida; la parálisis cerebral se clasifica como una discapacidad intelectual (Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007; Gulati & Vishal, 2018; Evans, 1948).

Diferentes autores coinciden en establecer que la parálisis cerebral no es una valoración etiológica sino descriptivo, con una multiplicidad de fenotipos según el trastorno motor predominante, por esto la parálisis cerebral es una condición usado para especificar el síndrome producido por lesión o daño del sistema nervioso central durante períodos críticos de su desarrollo, con expresiones clínicas cambiables como cada niño quien la presenta, pero que comparten frecuentemente el compromiso neurológico motor (Zapata & Mesa, 2010; Aspace, 2014; Busto Barcos, 1988; Palsy, 2019; Morales Vaquero, 2017).

Es importante denotar que la parálisis cerebral se cataloga como la causa más frecuente de discapacidad en niños en muchos países (Aspace, 2014); en Colombia específicamente en el departamento del Atlántico la población que presenta dicho tipo de discapacidad superó el 8% de la población total (DANE, 2018); la parálisis cerebral no tiene cura y el paciente con parálisis cerebral está predispuesto a presentar trastornos del habla y del lenguaje, los cuales varían considerablemente desde una simple lalopatía (alteración en la articulación de la palabra), como por ejemplo la disartria (trastorno de la programación motora del habla), hasta logopatías (alteración de las funciones del lenguaje oral, escrito y gestual) muy complejas, como pueden ser

una agnosia (trastorno que incapacita poder procesar la información sensorial) o una disfasia (anomalía del lenguaje oral que consiste en una falta de coordinación de las palabras) (Busto Barcos, 1988; Ayala, 2012; Gulati & Vishal, 2018; Pennington, 2008; Kuban & Leviton, 1994).

Los niños con parálisis cerebral se encuentran privados total o parcialmente del mecanismo psicofísico del habla que les permite exteriorizar sus pensamientos, debido a que estos presentan alteraciones motrices que les impiden realizar los movimientos musculares necesarios para efectuar una comunicación inteligible, (De Saussure, 1994; Riofrio & Carolina, 2015) adicional a esto, sus trastornos motrices, tanto buco articulatorios como corporales, les impiden utilizar tal mecanismo psicofísico y exteriorizar aquellas combinaciones que en definitiva constituyen el habla, afectando así directamente el desarrollo de su competencia de comunicación lingüística (Novacheck, Trost, & Sohrweide, 2010; Kuczyńska-Skrzypek & Saville-Troike, 1987).

El habla es una actividad básicamente neurofisiológica que puede ser afectada por cualquier trastorno del sistema neuromuscular. En caso del niño con parálisis cerebral, las probabilidades de trastornos del habla son casi totales y la gravedad del trastorno aumenta según la severidad del tipo de parálisis cerebral que presenta el paciente, ya que la causa de su enfermedad es una lesión cerebral localizada en las áreas motrices (piramidal, extrapiramidal y cerebelosa) (Ayala, 2012; Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017).

Con base en lo anterior, la evaluación de la inteligencia en el niño con parálisis cerebral es motivo de continuas discusiones, y en todos los casos no se debe afirmar que existe un trastorno intelectual en el paciente con parálisis cerebral, no es fácil medir su coeficiente intelectual porque las pruebas usuales requieren cierta expresión verbal y un grado de motricidad que en la mayoría de las veces están fuera de las posibilidades de aquellos niños, Evans (1948) expresa que: *"el*

rostro del niño paralítico cerebral podrá ser inexpresivo, y verter saliva, pero no porque sea deficiente mental, sino, simplemente, porque los músculos no cumplen su función normal".

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los niños con parálisis cerebral presentan un desarrollo deficiente de sus competencias comunicativas (Ayala, 2012; Busto Barcos, 1988), esto es debido a varios hechos relacionados con la enfermedad que afectan directamente el desarrollo normal de estas competencias en el niño. Uno de estos hechos concierne a los pacientes con parálisis cerebral es un riesgo de los trastornos del lenguaje o del habla, debido a que los trastornos de este tipo causados por la enfermedad son muy variables; algunos niños conseguirán un habla funcional e inteligible a una edad temprana, pero otros la lograrán tarde e incluso no podrán desarrollarla. Todos los pacientes que no dispongan de la posibilidad de expresarse de forma oral recurrirán a alternativas de sistemas aumentativo de comunicación; comúnmente se considera a la habilidad de *"hablar"* como sinónimo de la capacidad de *"comunicación".* Lo anterior, ha permitido que niños con déficits motores severos se vieran excluidos de tratamientos de fonoaudiólogos, considerando que poco se podía favorecer en la adquisición de mecanismos de comunicación para expresar sus deseos, sentimientos, necesidades etc.(Aspace, 2014).

Adicionalmente otro hecho que afecta al desarrollo de las competencias comunicativas en los pacientes con parálisis cerebral es que la enfermedad presenta condiciones asociadas a la misma no generalizables, las cuales deben recibir tratamiento constante. La parálisis cerebral es una enfermedad multidimensional, que por sus características requiere un abordaje multidisciplinar, en el cual cada especialidad o disciplina ayuda al desarrollo y reeducación de las competencias comunicativas del paciente, ayudando a optimizar la calidad de vida de estos.

Para ayudar al desarrollo y reeducación de las competencias comunicativas del paciente, estos deben recibir atención en centros especializados y apoyo en centros educativos, ya sean de educación especial, apropiada para la parálisis cerebral o bien en colegios de educación tradicional, si el niño es capaz de integrarse en los últimos, lo cual dependerá del grado de afectación y del tipo de severidad de la enfermedad; si dicho tratamiento no se realiza de manera adecuada, a través del tiempo puede presentarse muy probablemente una involución en el desarrollo de las actividades de la vida diaria y desencadenar nuevas alteraciones derivadas que afecten aún más el desarrollo del niño (Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017).

Otro hecho que afecta al paciente con parálisis cerebral en el desarrollo de sus competencias comunicativas, son sus mismos familiares, ya que en ocasiones las familias tienden a ser sobreprotectoras con los niños diagnosticados con esta condición, restringiendo en muchos casos, elementos tan importantes a aumentar como su independencia o la notabilidad de su opinión en su determinación, esto debido al temor que pudiera pasarles algo o porque consideran que puede ser lo mejor para ellos, creando así barreras que impiden al paciente alcanzar una autonomía propia y desarrollar de forma regular sus competencias (Aspace, 2014).

Así como en algunos niños la parálisis cerebral es apenas apreciable, en otros puede manifestarse con mayor afectación y necesitar un apoyo mayor de otras personas para realizar sus actividades cotidianas. La parálisis cerebral no se puede curar, pero si el paciente diagnosticado con esta condición obtiene una atención apropiada que le favorezca a su motricidad, que le propicie sus procesos cognitivos, que le favorezca su nivel de comunicación posible y que, estimulando así su relación social, podrá tener una buena calidad de vida (Chew Ka , Iacono, & Tracy, 2009).

En la actualidad, los tratamientos que recibe un paciente con parálisis cerebral requieren de un profesional que los realice todo el tiempo, y se debe contar con la familia del niño, dichos tratamientos pueden apoyarse del uso de distintas herramientas (juegos, pictogramas, software especializados, tableros, etc.) que pueden ayudar al éxito del mismo, pero dichas herramientas no son funcionales para todos los tipos de parálisis cerebral por sus diferentes condiciones asociadas (Pennington, 2008). Adicional a esto, las herramientas tecnológicas existentes que tienen un mayor rango de uso para los distintos tipos de parálisis cerebral, no permiten alternativas a la comunicación verbal, bloqueándole de ese modo al paciente la posibilidad de comunicarse a través de gestos y ademanes de forma no verbal, dejando de lado el desarrollo de la competencia kinésica de comunicación, afectando así las probabilidades de éxito y/o la velocidad del tratamiento (Aspace, 2014; Baños, 2012).

La familia del paciente con este tipo de condición desempeña un rol importante en el proceso de rehabilitación, estos se convertirán en su interprete o interlocutores y en su soporte motriz en muchos casos, permitiendo así una mejor inclusión social del paciente, el problema está cuando este va creciendo y trata de integrarse con otros niños en distintos ambientes sociales, debido a que en muchos casos se les hace difícil al no contar con las competencias mínimas requeridas para autónomamente, interactuar a través de la comunicación con sus semejantes, causando así una exclusión social de parte de los demás niños en algunos casos, para tratar de evitar esta situación se debe procurar establecer un Código de Comunicación apoyándose en el uso de herramientas comunicativas lo antes posible para facilitar su interacción social. El éxito de la comunicación dependerá de que ésta no sólo se realice con interlocutores privilegiados como puede ser la madre, el padre o los profesionales que traten con el paciente, sino con todas las

personas que lo rodean (Aspace, 2014; Canale & Swain, 1980; Pennington, 2008; Savignon, 2018).

Por lo anterior, se puede afirmar que la búsqueda continua de nuevas herramientas tecnológicas que permitan el tratamiento y reeducación de los pacientes con parálisis cerebral de una manera efectiva sin importar el grado de severidad de la parálisis y tipo de comunicación que pueda ejercer el paciente resulta extremadamente relevante, si se quiere aumentar el éxito en el desarrollo de sus competencias comunicativas y garantizarles una mejor calidad de vida, un incremento en su autonomía, y aportando a reducir las barreras de inclusión social de estos (Ayala, 2012; Minsky, 1988).

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Dado esta situación problémica surge la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera favorecer el desarrollo de competencias comunicativas en niños con parálisis cerebral?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La Parálisis Cerebral es la causa más frecuente de discapacidad motora en la edad pediátrica (Ayala, 2012; Castellanos & Castellanos, 2007), alrededor de 2 o 3 niños por cada 1,000 bebés nacidos desarrollan parálisis cerebral (Palsy, 2019).

El principio de la vida digna instituido como base para la formulación de derechos humanos fundamentales, acoge principalmente a las personas que presentan algún tipo de discapacidad; tal precepto obliga a generar propuestas en pro de mejorar la calidad de vida de la población vulnerable (Prieto García, 1999; Palsy, 2019).

Por otra parte, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia – DANE, asume la discapacidad desde un enfoque biomédico como la deficiencia física, intelectual o sensorial, como una dolencia que requiere atención médica, o una enfermedad mental. Esta definición viene desde el censo nacional de Colombia de 1993, en los resultados del censo realizado en 2018, se evidencia que la población con discapacidad es de 3.134.036 mientras que en los resultados del censo realizado en 2005 era de 2.624.898, esto quiere decir que la población con discapacidad aumentó un 19,4% en este periodo (DANE, 2018).

Según resultados del censo nacional de Colombia de 2018, el 8,5% de la población con discapacidad a nivel nacional corresponde a niños entre 0 y 14 años y el 71,5% del total de la población en discapacidad pertenece a los estratos 1 y 2 (DANE, 2018).

En el departamento del Atlántico se concentra el 4,1% del total de la población con discapacidad a nivel nacional y en este departamento el porcentaje de personas que presentan una discapacidad de tipo intelectual, la cual les dificulte comprender, instruirse, tener presente o tomar decisiones por sí mismo supera el 8% de la población total; dentro de este tipo de discapacidades se encuentra la parálisis cerebral (DANE, 2018).

Adicional a lo anterior, se debe mencionar que no hay cura para la parálisis cerebral pero el tratamiento puede mejorar la calidad de vida de quienes tienen esta afección; los niños con parálisis cerebral presentan un desarrollo deficiente de sus competencias comunicativas incapacitándolos para producir lenguaje pragmático; adicionalmente presentan desafíos en otros componentes de la comunicación, como gestos manuales y expresiones faciales, así como dificultad para participar en conversación de nivel básico; estos desafíos durarán todas sus vidas, por esto se hace necesario buscar otros recursos para desarrollar los actos comunicativos en esta población (NINDS, 2016).

Los tratamientos y recursos para tratar los trastornos del lenguaje en niños con parálisis son variables, tales como el uso de métodos para la reeducación del lenguaje hasta la sustitución de la función motriz del habla por una herramienta alternativa o aumentativa que se apoye en la comunicación no verbal y en el uso de tecnologías (Ayala, 2012).

Entre los métodos de reeducación del lenguaje se incluye:

- El método de Tardieu, el cual se basa en aislar una lista de factores (respiraciones, praxias bucales, funciones motrices de las actividades bucales, estudio fonético, etc.) y analizar separadamente su nivel de alteración para reeducarlos después (Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017).
- El método Bobath se fundamenta en reconocer la relevancia de factores tales como la obstrucción por una lesión en el desarrollo regular del cerebro, que conduce el atraso o la suspensión del desarrollo motriz del bebé y la aparición de representaciones anormales de condición y de movimiento correspondiente a la realización de la actividad reflejada de ubicación (Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007).
- El método PODD, el cual se basa en el uso de las tablas didácticas de clasificación pragmática del lenguaje y usa papeles de comunicación didácticos con vocabulario clasificado pragmáticamente basados en figuras, pictogramas o palabras escritas (Busto Barcos, 1988; Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007; Morales Vaquero, 2017).

Adicionalmente, existen un gran número de herramientas tecnológicas que sirven como apoyo al desarrollo de competencias comunicativas en niños con parálisis cerebral denominados Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC). En la Tabla 1, se relacionan los

Herramienta	**Año lanzamiento**	**Creada por**	**País origen**	**Tipo**	**Manejo por rastreo ocular**	**Manejo por pulsador**	**Comunicación por Pictogramas**	**Comunicación por sonidos**	**Comunicación por gestos**
Jo comunico	2017	Sergio Palao	Gobierno de Aragón	App		x	x		
Tobii Dynavox	2017	Tobii	Suecia	Dispositivo	x	x	x		
CPA	2016	CPA	España	App		x	x		
AraBoard	2015	Affective Lab	Gobierno de Aragón	App		x	x		
Plaphoons	2015	Projecte Fressa	España	App		x	x		
LetMeTalk: Talker SAAC, CAA, SAC	2013	AppNotize UG	Alemania	App		x	x		
e-Mintza	2013	Fundación Orange y la Fundación Policlínica Gipuzkoa	España	App		x	x		
The Grid 2	2011	Smartbox	Reino Unido	App		x	x		
Tobii	2001	Tobii Technology	Suecia	Dispositivo	x	x	x		
Livox	2019	Carlos Edmar Pereira	USA	App	x	x	x		

SAAC más recientes, así como sus características principales.

Tabla 1 SAAC existentes y sus características principales. Fuente: Elaboración propia

Es perentorio mencionar que los SAAC expuestos en la Tabla 1 no son los únicas que existen (Román, 2017) pero casi todos estos comparten las mismas funcionalidades, adicionalmente, la gran mayoría SAAC requieren de ciertas características presentes en los usuarios para poder ser utilizados, dichas características son que los usuarios deben contar con una buena comprensión cognitiva, pero graves problemas articulatorios o que sean sujetos con baja comprensión cognitiva y problemas de expresión (de tipo articulatorio, madurativos) o que presentan variaciones en la locución, con dificultades a nivel de habla (disartrias, laringectomizados, patologías continuas musculares o neurológicas, afásicos) o que tengan carencias sensoriales severas (Abril Abadín, Delgado Santos, & Vigara Cerrato, 2012).

Es posible afirmar que cualquiera de los SAAC anteriores puede apoyar el desarrollo de competencias comunicativas de niños con parálisis cerebral, pero se determina por las características presentadas de cada herramienta que para poder ser utilizadas el paciente debe poseer cierto control motriz para su accionar y/o contar con una capacidad cognitiva que le permita asociar las imágenes a su significado, descartando a toda la población que no cuenta con esas capacidades y dejando también por fuera la competencia kinésica de comunicación que es fundamental desarrollar en la población con parálisis cerebral para poder lograr comunicarse cuando exista un trastorno severo del habla (Birdwhistell, 1952; Busto Barcos, 1988; Abril Abadín, Delgado Santos, & Vigara Cerrato, 2012; Aripin & Noor, 2019).

Así también, la efectividad de los métodos de reeducación del lenguaje viene relacionada con la frecuencia de aplicación de estos (Reyes, 2014) por parte de un profesional, limitando la posibilidad de mejora a la población con parálisis cerebral que no cuenta con recursos económicos para acceder a los servicios de un profesional de manera frecuente (Aspace, 2014; Abril Abadín, Delgado Santos, & Vigara Cerrato, 2012).

En virtud de lo anterior, los niños con parálisis cerebral merecen contar con un desarrollo de sus competencias comunicativas como cualquier persona sin discapacidad, por esto es necesario aportar investigaciones desde el punto de vista de la ingeniería en pro de encontrar una solución alternativa que logre ser accesible y que aproveche los avances tecnológicos actuales, avances como las técnicas en inteligencia artificial que favorezcan el desarrollo de la competencia kinésica de comunicación en estos pacientes, debido a que las herramientas tecnológicas existentes hoy en día no contemplan el tipo de comunicación no verbal como alternativa de comunicación para estos pacientes.

Logrando lo anterior, se romperían las barreras económicas y de disponibilidad que presentan los equipos tecnológicos actuales para toda la población con parálisis cerebral, tanto para los pacientes que presenten comprometidas sus funciones corporales y/o de aquellos que no poseen los medios económicos para poder acceder a los servicios que les permitan favorecer el desarrollo de sus competencias comunicativas y así lograr mejorar su calidad de vida (Castellanos & Castellanos, 2007; Canale & Swain, 1980; Savignon, 2018).

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La integración de técnicas de aprendizaje profundo (Deep Learning) en los problemas mezclado a la comunicación en niños con parálisis cerebral tiene la capacidad potencial para hacer frente a algunos de los desafíos en el desarrollo de competencias comunicativas en estos pacientes y así favorecer la elaboración de prácticas de enseñanza y tratamientos apoyados en estas técnicas innovadoras (Panchanathan, Moore, Venkateswara, Chakraborty, & McDaniel, 2018).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los recursos como los SAAC para la comunicación son dispositivos cuya función es ayudar a que una persona logre comunicarse mediante el aumento de la capacidad de comunicarse a través del dispositivo o sustituyendo la función de comunicación oral de la persona completamente. El objetivo principal de estas herramientas es el de permitir llevar a cabo todas las formas de competencias comunicativas, aunque es necesario escoger el producto más adecuado para el usuario, dependiendo de sus disfunciones para evitar generar el efecto contrario (Palsy, 2019; Zapata & Mesa, 2010).

Las herramientas tecnológicas que hagan uso de técnicas innovadoras como por ejemplo Inteligencia Artificial, podrán lograr enfoques distintos para abordar los problemas de comunicación en los pacientes con parálisis cerebral, como, por ejemplo, que los niños estén rodeados de diferentes herramientas intuitivas e inteligentes embebidas en toda suerte de objetos que, dentro de un entorno, son capaces de reconocer y responder de forma continua a sus acciones. En una de las ramas de la Inteligencia Artificial se encuentran las redes neuronales convolucionales (RNC), las cuales permiten ubicar modelos en imágenes con el objetivo de distinguir objetos, caras y escenas (Ranschaert, 2019; Ramírez & Castaño, 2007; Londoño González & Sánchez Sánchez, 2015). Estas redes son muy útiles para problemas de clasificación, ya que aprenden directamente patrones en imágenes, lo que le permite clasificarlas y evitar la precisión de una clase manual de particularidades. Estas pertenecen a las técnicas de Deep Learning, el cual está dentro del campo del Machine Learning (Mathworks, 2020; Portugal, Alencar, & Cowan, 2018).

En la técnica de redes neuronales convolucionales diversos autores como Mathworks (2020), Ranschaert (2019), Hutter (2019), Ramírez (2007), Pennington (2008), He (2016), Huang (2019) entre otros, concuerdan en la siguiente definición, la cual va en línea con la investigación,

que en las RNC la propia red aprende las características o patrones ocultos en las imágenes, generando buenos resultados de reconocimiento. Así mismo, las RNC permiten una generalización y adaptación toda vez que pueden usarse en novedades y trabajos de reconocimiento mediante redes ya entrenadas. Una red neuronal convolucional suele poseer decenas o cientos de mantos que aprenden a descubrir diferentes características de una figura Igualmente otras arquitecturas de redes neuronales, una RNC se hace una capa de entrada, una capa de salida y muchas capas ocultas intermedias. Estas capas ejecutan operaciones que cambian los datos con la finalidad de estudiar las particularidades específicas de esos datos. Tres de las capas más frecuentes son: convolución, activación (o ReLU) y agrupación. Donde la convolución hace transitar las figuras de entrada por medio de un conjunto de filtros convolucionales, y donde cada filtro mueve determinadas características de la figura. La unidad lineal rectificada (ReLU) permite una preparación más rápido y efectivo al destinar los valores negativos a cero y conservar los valores positivos. Esto, se conoce como activación, debido a que las características activadas continúan su destino hacia la siguiente capa. La congregación reduce la salida al llevar a cabo una disminución no lineal de la tasa de muestreo, lo que a minora la cantidad de parámetros que requiere la red para ser entrenada (He, 2016; Huang, Tseng, Chien, & Chien, 2019). Dentro del procesamiento, en las capas ocultas se emplean filtros a cada figura de entrenamiento con diferentes resoluciones, y la salida de cada figura convolucionada se utiliza como entrada de la próxima capa. Los filtros son capaces de saltar de propiedades muy simples, como el brillo y los bordes, a propiedades más complejas que definen seguramente el objeto (Mathworks, 2020; Pennington, 2008; Ramírez & Castaño, 2007). En la Figura 1 se presenta el esquema de una red neuronal convolucional típica que incluye diversos tipos de capas ocultas.

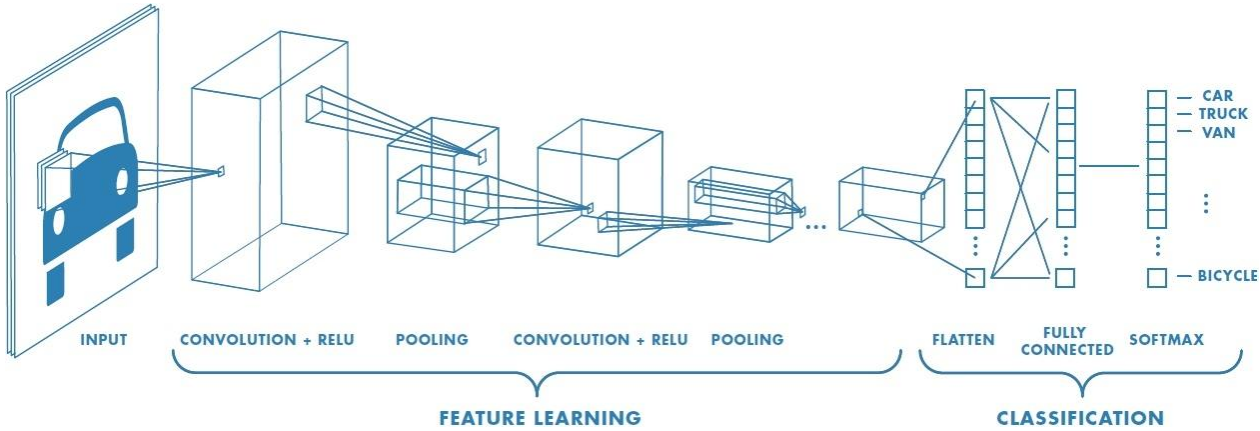


Figura 1 Ejemplo arquitectura red neuronal convolucional. Fuente: (Mathworks, 2020)

Las redes neuronales convolucionales se utilizan en distintos tipos de problemas, pero en nuestra investigación, en particular, nos ayudaron a solucionar un problema de clasificación en videos de acciones humanas o, dicho de otro modo, a identificar en un video, qué acción está realizando un humano en este mismo (Rich, 1994; Ranschaert, 2019; Nuñez Bedoya & Romo Romero, 2019). Esto puede ser usado para comunicarse de manera no verbal o de forma Kinésica, dado que la competencia kinésica de comunicación es la capacidad de efectuar comunicación mediante ademanes y gestos corporales o comunicación no verbal, siendo parte del grupo de 7 tipos de las competencias comunicativas, tales como la competencia lingüística, paralingüística, kinésica, proxémica, ejecutiva, pragmática y competencia sociocultural (Berruto, 1974).

La definición de competencias comunicativas, así como sus tipos, difiere entre distintos autores, para esta investigación se aceptó la postura teórica propuesta por Berruto (1974), por ser acorde al contexto de la investigación. Berruto define a las competencias comunicativas como "*la capacidad que vislumbra no sólo la habilidad lingüística y gramatical de originar expresiones bien fundadas, y así dilucidar y prorrumpir juicios sobre expresiones originadas por el hablante/oyente o por otros, sino que perentoriamente se dispone por un lado en que concurre una serie de destrezas extralingüísticas conexas, sociales y semióticas, y en el otro, de una*

destreza lingüística polifacética y diverso", planteando también los 7 tipos de competencias comunicativas anteriormente mencionados (Silva-Corvalán & Enrique-Arias, 2017).

Se destaca la definición de kinésica según Ray Lee Birdwhistell (1952), la cual no fue sólo la indagación de una organización para el lenguaje corporal; sino que también suministró a la tesis de los movimientos físicos y gestuales, un nombre nuevo llamado Kinésica, la cual se define por Birdwhistell como la rama que se dedica a estudiar la gestualidad de los individuos, desde los gestos faciales a los movimientos corporales, incluyendo señas, movimientos de vista, expresiones faciales, inclinaciones de cabeza, y otras exposiciones físicas que logran esgrimir en la comunicar (Baños, 2012; Aripin & Noor, 2019).

También, a manera de critica comparativa, se identificaron distintas posturas teóricas a la propuesta por Berruto, donde Chomsky (2011) empezó a precisar el termino de competencia comunicativa como la competencia lingüística, la cual puede considerarse como la habilidad de manejar el habla con ajustes en una diversidad de escenarios explícitos socialmente, siendo una fragmento determinante de la competencia lingüística, la destreza de ocasionar oraciones gramaticalmente precisas. Chomsky discurre al hablante/oyente idóneo en un entorno lingüístico completamente homogéneo, que conocen su lengua a la perfección y al que no se ve afectado por condiciones que no aportan valor a nivel gramatical (Hernández & Conde, 2009).

Posterior a esto surgieron otros autores aportando a la definición del concepto teórico, tales como Hymes (1972), el cual, después de diversas investigaciones etnológicas acerca de la correspondencia entre cultura, sociedad y lenguaje, considera que la definición de competencia lingüística de Chomsky era escaso debido a que los manifestados debían ser además convenientes y admisibles para el contexto en el iban a ser usados, por lo tanto, extiende el concepto de competencias comunicativas presentando cuatro dimensiones, i) el grado desde que el algo resulta

determinadamente posible (gramaticalidad), ii) el grado desde que el algo resulta realizable, iii) el grado desde que el algo oportuno y iv) el grado desde que el algo se da en el contexto. Consecuentemente, conseguimos denotar que nociones como ser adecuado o admisible hacen parte de la competencia comunicativa, así como ser gramaticalmente educado (Vygotski, 1995; Hernández & Conde, 2009; Savignon, 2018).

Otra definición es la de Gumperz (1972) que contrasta con la definición de Hymes al considerar que las competencias comunicativas es lo que precisa el parlante para comunicarse en tramas que son demostrativos culturalmente.

Ahora bien, las competencias comunicativas en los niños con parálisis cerebral son desarrolladas deficientemente, debido a que estos se hallan privados total o parcialmente del mecanismo psicofísico del habla que les permite exteriorizar sus pensamientos, y debido también a que sus trastornos motores, desde los buco articulatorios como corporales, les imposibilitan manejar dicho componente psicofísico y manifestar aquellas composiciones que en concluyente establecen el habla, afectando así directamente el desarrollo de su competencia de comunicación lingüística (Ayala, 2012; Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017).

El compromiso de las perturbaciones del lenguaje o del habla en los pacientes con parálisis cerebral es muy voluble; la razón de esto es el masivo conjunto de afecciones que conforma enfermedad y que no existe solo una definición y tipo que incluya todas las afecciones que presenta un paciente que la padece (Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007; Castellanos & Castellanos, 2007; Gulati & Vishal, 2018).

El término parálisis cerebral surgió originalmente en 1862 con el inglés William John Little quien describió la forma espástica de la parálisis cerebral, a la que se dio el nombre de “mal de Little” (Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017). Actualmente, contrariamente de los cuantiosos tentativas por precisar la definición de la Parálisis Cerebral, aún no se ha logrado una tesis que acople la totalidad de los dictámenes sobre ésta, no obstante, sí coexisten elementos comunes en la colectividad de ellas (Ayala, 2012; Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007; Castellanos & Castellanos, 2007; Aspace, 2014).

En esta investigación se acogió como definición por ser acorde al contexto la definición de Aspace (2014) la cual dice que la parálisis cerebral es una lesión permanente y no inalterable (no pretende afirmar que dichas derivaciones no varíen involutiva o evolutivamente), producida cuando el cerebro aun se encuentra desarrollándose, y se delimita en el Sistema Nervioso Central provocando trastornos en el tono y la réplica muscular. Así mismo, coexiste un beneplácito en aseverar que la parálisis cerebral consigue trasferir conjuntamente diversas afectaciones desde el punto de vista cognitivo y/o social (Prieto García, 1999; Palsy, 2019), clasificándose en distintos tipos, como se presenta en la Figura 2.

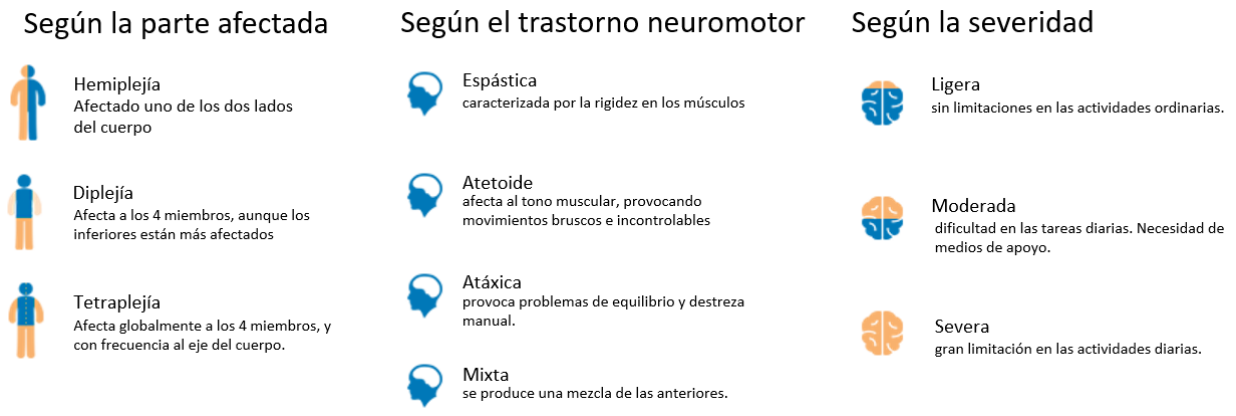


Figura 2 Clasificación de la parálisis cerebral. Fuente: (Aspace, 2014)

Para el apoyo del tratamiento de niños con parálisis cerebral existen sistemas aumentativos y alternativos de comunicación (SAAC) cuyo objetivo es el de desarrollar (aumentativos) y/o ayudar (alternativos) los problemas de comunicación y expresión de numerosas individuos con discapacidad creando uso de muchos procedimientos de símbolos, tanto gráficos (retratos, diseños, pictogramas, vocabularios o letras) como gestuales (imitación, señas o signos manuales) y, en el caso de los primeros, solicita asimismo el uso de servicios de soporte (Román, 2017; Ayala, 2012; Baños, 2012).

En los niños con parálisis cerebral la competencia Kinésica cumple un papel fundamental siendo independiente de la capacidad de hablar de la persona; más aún, en muchos casos los pacientes logran desarrollar dicha competencia de forma abstracta al crear su propio código de lenguaje (Gulati & Vishal, 2018; Gumperz & Hymes, 1972).

Teniendo en cuenta lo argumentado, en esta investigación es de especial interés clasificar el código de lenguaje kinésico propio de cada persona con parálisis cerebral, de tal forma que se capturen los gestos, movimientos y expresiones no verbales y se traduzca a un lenguaje común identificado por un grupo mayor de personas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer una herramienta tecnológica para favorecer el desarrollo de competencias comunicativas en niños con parálisis cerebral.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los fundamentos teóricos y epistemológicos asociados con los procesos de comunicación en niños con parálisis cerebral.

- Describir los procesos y metodologías asociadas con la comunicación en niños con parálisis cerebral.
- Caracterizar las relaciones funcionales entre los elementos intervinientes en el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral.

4 METODOLOGÍA

Esta investigación se estructuro como tipo proyectivo de acuerdo con lo definido por (Hurtado De Barrera & Barrera Morales, 2000) quien lo define como un proceso que: "consiste en la preparación de una propuesta o de un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras".

El método de investigación utilizado fue el sistémico estructural, soportado en un enfoque holístico que surgió como réplica a la insuficiencia integradora de los numerosos técnicas, métodos y enfoques, que a partir de diversas disciplinas científicas han permeado el progreso del conocimiento científico, se buscó analizar los elementos del proceso de comunicación de un niño con parálisis cerebral partiendo desde la situación actual de las herramientas que favorezcan el desarrollo de competencias comunicativas en dicha población que ya se hayan puesto en marcha y que se tomaron como casos exitosos.

El método sistémico – estructural – funcional se sustentó en los aportes semánticos y metodológicos de la teoría general de sistemas propuesta por Ludwing Von Bertalanfly (1974), en donde se analizó la totalidad de un sistema de forma holística.

El enfoque holístico de la investigación permitió integrar de una forma lógica y coherente aspectos desarrollados por otros investigadores con relación a los temas de estudios, con el fin de que la investigación se aproxime a la realidad (Hurtado De Barrera & Barrera Morales, 2000).

5 MAPA DEL DOCUMENTO

El presente documento de investigación está constituido por cuatro (4) secciones, cada una de las cuales brevemente se describen a continuación:

En la sección 6 se presentan los fundamentos teóricos y epistemológicos asociados con los procesos de comunicación en niños con parálisis cerebral, así como una síntesis del concepto de kinésica y como este se relaciona con la comunicación en niños con parálisis cerebral que ayudando al lector a entender mejor los temas abordados en la investigación.

Posteriormente, en la sección 7 se presenta en detalle el diseño propuesto para el modelo de herramienta tecnológica y las características que posee, así como también la descripción de los procesos y metodologías asociadas con el proceso de la comunicación en niños con parálisis cerebral,

La sección 8, muestra los resultados obtenidos de los experimentos y la caracterización de las relaciones funcionales entre los elementos intervinientes en el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral y el análisis de los resultados obtenidos de cada experimento.

Las conclusiones del trabajo de investigación, respuesta a las preguntas de investigación y trabajos futuros planteados son acogidos en la sección conclusiones.

Finalmente, se relacionan los diferentes referentes bibliográficos que soportan el presente trabajo de investigación en la sección referencias.

6 IDENTIFICACIÓN DE LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y EPISTEMOLÓGICOS ASOCIADOS CON LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL.

En este capítulo se identifican los procesos y fundamentos teóricos relevantes durante el desarrollo de las competencias comunicativas en pacientes con parálisis cerebral, también se presenta una evolución del concepto de competencias comunicativas desde la perspectiva de múltiples autores, se explican los mitos y realidades que rodean al concepto de competencias comunicativas en pacientes con parálisis cerebral, así como también se hace un abordaje en profundidad del concepto de competencias kinésicas y de su rol en el proceso evolutivo de comunicación, enfocado especialmente en niños; por último se abordan los usos que tienen las técnicas de aprendizaje profundo en entornos clínicos.

El proceso de comunicación se ha venido desarrollando desde los comienzos de la humanidad, diversos autores han aportado a definir una ruta que permita entender mejor, dicho concepto. En esta investigación tomamos como referencia los aportes de los autores presentados en este capítulo por estos ser relevantes con el tema de la investigación.

Lehtonen (2009) define que, *"la comunicación es una interacción social, a través de la cual se hace el intercambio y creación de conocimiento",* desde que la especie humana llegó a este mundo, han existido diversas formas de comunicarnos, tanto gráfica como verbalmente, desde el Homo Sapiens hasta nuestros días, hemos investigado nuevas formas de trasmitir nuestros pensamientos y deseos (Lehtonen, 2009).

Carey (1989) redacto a finales de los años ochenta que una dificultad básica de la comunicación es que, al ser una vivencia cotidiana, es en lo postrimero en lo que meditamos por ser lo más supuesto, un enfoque que entendía expresar la poca investigación metódica que hasta

el instante se había dado sobre la dificultad de la manifestación comunicativo y sobre los diversos estilos en las que se podía objetivar a la luz de la mirada ensimismada.

Serrano (2007) plantea que en la comunicación quedan comprometidos los componentes de diferente medio cuyas relaciones quedan normalizadas, las reciprocidades comunicativos de información son métodos que acontecen en el interior de un sistema: el sistema de comunicación que se interconectan con un objeto de referencia, es decir "aquello a propósito de lo que se comunica" y que incluso el surgimiento de las representaciones, las indicaciones comunicativas se desenvuelven mancomunadamente y el universo referencial.

Es un hecho que los sistemas de comunicación empleados por los seres humanos han cambiado bastante a través de los siglos. Comenzando en las cavernas donde cualquier herramienta que se hallaba en nuestro entorno era usada para crear sistemas comunicativos con los que podíamos interrelacionarnos, compartir y preservar el discernimiento, además de progresar como sociedad. Este fenómeno ha llegado hasta tal punto que, gracias a la revolución digital, se han creado foros y redes sociales con las que el ser humano está mucho más conectado. Y la historia no acaba ahí, pues más adelante se han ido desarrollando otras redes sociales, donde más allá del texto, se utilizan las imágenes y/o videos como forma principal de trasmitir un mensaje, demostrando que la comunicación no dejará de evolucionar nunca, los seres humanos encontraremos formas nuevas de transmitir mensajes (Kosselleck, 2002).

El proceso de comunicación está relacionado con el concepto de las competencias comunicativas, dado que este último a deuda su aparición, posterior progreso y evolución a heterogéneas ramas de la ciencia como la Pedagogía, Psicología, Lingüística y Sociología que se basaron en las definiciones del proceso de comunicación para poder plantear dicho concepto.

La definición de competencias comunicativas, así como sus tipos, difiere entre distintos autores. Para esta investigación se aceptó la postura teórica propuesta por Berruto (1974), por ser acorde al contexto de la investigación. En este capítulo se presenta a manera de critica comparativa los aportes de diversos autores que ayudan a comprender mejor dicho concepto.

Berruto (1974) define a las competencias comunicativas como la facultad que percibe no sólo la destreza lingüística y gramatical de causar locuciones bien fundadas, y así aclarar y expresar opiniones sobre enunciados causadas por el parlante/oyente o por otros, sino que precisamente se prepara por una parte en el que concurre una sucesión de destrezas extralingüísticas interconectadas, semióticas y sociales, y en el otro, de una destreza lingüística múltiple y variada, diseñando asimismo 7 tipos de competencias comunicativas tales como la competencia lingüística, paralingüística, kinésica, proxémica, ejecutiva, pragmática y sociocultural (Berruto, 1974; Silva-Corvalán & Enrique-Arias, 2017).

Por otro lado, Pulido (2004) define la capacidad expresiva integral como “la destreza del que aprende la lengua para expresar, interpretar y negociar significados socioculturales en la interacción entre dos o más personas, o entre una persona y un texto oral o escrito, de forma tal que el proceso de comunicación sea eficiente y esté matizado por modos de actuación apropiados” (Pulido, 2004).

Adicionalmente, se tiene que la teoría chomskiana sobre competencias comunicativas en la instrucción de lenguas tuvo sus principios cerca del lapso del 60’ del siglo XX. En ella, Chomsky encaja los componentes “actuación-competencia”, en el que el originario involucra el conocimiento que el oyente/hablante conserva de su idioma, entiéndase discernimiento lingüístico (fonológico, morfológico, sintáctico, semántico y léxico) y el segundo es el uso real de la lengua en situaciones concretas (Chomsky, 2011).

Chomsky (2011) discurre al hablante/oyente idóneo en un entorno lingüístico completamente homogéneo, que conocen su lengua a la perfección y al que no se ve afectado por condiciones que no aportan valor a nivel gramatical. Según Numan (1988), la competencia para Chomsky está combinada al mando de los principios que gobiernan la conducta del lenguaje y la acción, se describe a la declaración de estas normas internas en el uso serio del lenguaje (Baños, 2012).

Contrariamente de las restricciones de Chomsky para precisar la competencia comunicativa, al ceñirla solo a la competencia lingüística, distintos autores defienden la separación competencia-actuación esgrimida por él, pero aumentan la percepción (Baños, 2012; Carey, 1989).

Para el germano Jarmer (2005) el termino la competencia comunicativa se describe a un escenario meditabunda idónea, de igual manera que la competencia lingüística se describe al sistema abstracto de normas lingüísticas. No fue sino hasta que Dell Hymes (1972), luego de diversas investigaciones etnológicas sobre la correspondencia entre cultura, sociedad y lenguaje, donde él ostenta una percepción de competencia comunicativa ausente, en gran medida, de la magnanimidad antecedente. A excepción de esto, continúa limitando dicha percepción al parlante nativo. Para Jarmer, los fragmentos, como él los llamó, de las competencias comunicativas son las competencias lingüísticas, estratégica, sociolingüística y discursiva.

Tomando como base lo anterior, se abordó el tema de las competencias comunicativas enfocados en pacientes con parálisis cerebral, teniendo en cuenta que no existe una definición respecto al tema acogida por todos los autores. se pudo obtener parajes en común que admitieran en cierta manera formar una enunciación admitida para esta investigación.

En relación con la comunicación Lomas & Tusón (1996) creen que en un contexto comunicativo se utilizan todos los tipos de competencias comunicativas. Estas semejantes capacidades son las que despliegan todos los individuos que muestran Parálisis Cerebral, no obstante, tengan que acudir a la ocupación de técnicas aumentativos/alternativos de comunicación (Busto Barcos, 1988; Gulati & Vishal, 2018).

La cantidad de estudio que acceden la parálisis cerebral es uno de los impulsos por los que no se recuenta con un enunciado claro y generalmente admitida. Distinto son los impulsos por lo que concurren variados enunciados de la parálisis cerebral es que ninguna de ellas ha logrado reunir los juicios de los expertos, sin embargo, eso sí, se logran instituir diversos tipos de esta afectación que pueden ser capaces de alcanzar el consenso de todos (Camacho-Salas, Pallás-Alonso, de la Cruz Bértolo, Simón de las Heras, & Mateos-Beato, 2007)

Robaina & Riesgo (2007) plantean que la parálisis cerebral es una contusión imborrable y no progresiva, que se origina cuando el cerebro está en desarrollo, que está delimitada en el sistema nervioso central y que estimula una alteración en la respuesta y el tono muscular, aportando consigo otras alteraciones a nivel social y/o cognitivo. Estos autores entienden las competencias comunicativas como el discernimiento del hecho gramatical y de los caracteres no orales, así como las situaciones de uso en ocupación de los argumentos y escenarios de comunicación, también del diverso nivel de proyección y formalización de usos delimitados.

En esta línea, Canale y Swain (1980) instauran varias capacidades necesarias a requerir para poder abordar de un desarrollo de las competencias comunicativas en el paciente con parálisis cerebral, especificando la competencia lingüística, pragmática, sociolingüística, y kinésica. Pilleux (2001) por otro lado, coincide sólo en las dos primeras al considerar que son las competencias que forman la comunicación (Canale & Swain, 1980; Pilleux, 2001).

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, podemos determinar entonces que el desarrollo de las competencias comunicativas en cualquier niño se fundamenta en su habilidad de exploración de su entorno, la interacción con todo lo que le envuelve, así como de la asimilación, organización e integración en favor de su desarrollo de todas las experiencias vividas, tomando relevancia la competencia kinésica de comunicación en los niños con parálisis cerebral por las características presentadas por esta enfermedad logrando afectar la comunicación de quienes la padecen (Sanclemente, 1982; Morales Vaquero, 2017).

Para abordar el área de la ***Kinésica*** en la investigación, se tomó como referencia a dos autores encargados de estudiarla y analizarla de forma profunda; estos son, Knapp y Poyatos, cada uno de ellos establece una clasificación diferente para describir los distintos elementos que abarca la kinésica dentro del sistema de la conducta no verbal. No obstante, ninguno contradice lo descrito por el otro autor, sino que entre ambos existe una complementación muy provechosa al tratar los mismos conceptos desde puntos de vista diferentes (Knapp Mark, 1982; Poyatos, 1994; Seijo Fernández, 2017).

Mientras que Poyatos (1994) opta por el término ***kinésica*** para referirse al área de la comunicación no verbal encargada del estudio de los gestos, maneras y posturas, Knapp (1982) se refiere a esta como movimiento del cuerpo o comportamiento cinésico, dejando a un lado la conducta táctil como otro componente diferenciado en el sistema de la comunicación no verbal.

Por otro lado, como se mencionó previamente, Poyatos opta por el término *kinésica* para referirse a este componente de la comunicación no verbal, la cual define con las siguientes palabras: *"Los movimientos corporales y posiciones resultantes o alternantes de base psico muscular, conscientes e inconscientes, somato genéticos o aprendidos, de percepción visual, auditiva, táctil o cenestésica (individual o conjuntamente), que, aislados o combinados con las*

coestructuras verbales y paralingüísticas y con los demás sistemas somáticos y objetuales, poseen un valor comunicativo intencionado o no" (Poyatos, 1994; Seijo Fernández, 2017).

El rol de la competencia kinésica es muy importante debido a que, por medio del lenguaje corporal y los gestos es considerada parte fundamental en la comunicación lingüística. Nos consignamos a Poyatos (1994), quien asevera que la *"triple estructura de lenguaje-para lenguaje y kinésica"* componen un ambiente fundamental en la alocución, más adelante, Poyatos agrega, que *"nuestra tendencia es no considerar el hecho fundamental que nuestros cuerpos se expresan claramente consigo mismos, con otros cuerpos y con su entorno de manera íntimamente relacionada con otros sistemas somáticos, y que muchos de estos movimientos de contacto producen reacciones que no deberían omitirse en ninguna investigación seria de la comunicación humana"* (Poyatos, 1994; Seijo Fernández, 2017).

Abraham (1981), determino en la obra diccionario de terminología lingüística actual, que la preeminencia lingüística que los medios comunicativos no verbales o paralingüísticos, recubren y los concreta como *"medios de la articulación lingüística que se insertan sumándose a la codificación semántica, sintáctica y fonológica. A través de ellos se pueden expresar contenidos y poner de relieve intenciones"*. Se manifiesta igualmente a la relevancia comunicativa que tienen los movimientos del cuerpo como el llanto, la sonrisa, la mirada, la risa fuerte y variadas posturas corporales como expresiones motoras de la organización gradual de la identidad personal del niño (Abraham, 1981; Busto Barcos, 1988; Chew Ka , Iacono, & Tracy, 2009).

Por ejemplo, en un bebé de 1 a 2 años se estima una "reacción de seguridad" que se asemeja con una reacción emocional positiva una vez el bebé alcanza el equilibrio. Siendo así todo movimiento, parcial o total, logra contener un mensaje que el escucha es capaz de identificar

sin recurrir a verbalizaciones, por esta razón los especialistas del lenguaje y los psicólogos evolutivos piensan que la comunicación no verbal es una representación prematura de comunicación que es todo lo que se trasmite por medio de movimientos o gestos, revela totalmente las emociones o discernimiento sobre de la persona con la que se está interactuando, al momento que conversas con personas, se reflejan miles de señales y mensajes mediante el comportamiento (Abraham, 1981; Muñoz-Basols & Manel, 2017).

Con todo lo anteriormente presentado se determinan algunos problemas que se presentan recurrentemente en los pacientes con parálisis cerebral según diversos autores, obtenidos a través de revisión bibliográfica y posteriormente validados en entrevistas a padres de distintos niños que padecen parálisis cerebral, dejando únicamente los puntos que fueron más relevantes en los resultados de las entrevistas y que ayudaran al lector a contextualizar con el tema objeto de estudio, con el fin de lograr favorecer dichos elementos a través del uso de la tecnología propuesta en esta investigación.

Los problemas que se presentan recurrentemente en los pacientes con parálisis cerebral perturban tanto a la adquisición como al desarrollo común del lenguaje, llegando a estar involucrada la comprensión y la expresión, así como la pragmática. Diversos problemas y casos presentes en estos niños son enumerados a continuación:

1. Niños que difícilmente pueden seguir objetos o formas con los ojos y cuyo campo visual está limitado, hay imposibilidad de fijar los objetos pequeños o muy próximos, este punto desde el campo de la foniatría es importante debido a que la imitación es esencial; si el niño no ve bien, no puede imitar bien (Sanclemente, 1982; Pennington, 2008; Morales Vaquero, 2017).

2. Niños en los que es complicado identificar intentos y acercamientos comunicativos, al concordar este horizonte en competencia comunicativa con aquellos niños más delicadamente afectados que requieren de una intervención apoyada en estímulos visuales y/o auditivos (Aspace, 2014).

3. Niños con propósito comunicativo a un nivel prelingüístico; sin lenguaje oral, no obstante, con la presencia de variadas formas comunicativas para enunciar propósitos y deseos (Busto Barcos, 1988; Morales Vaquero, 2017).

4. Niños en los que el lenguaje oral alcanzado viene caracterizado por una descontextualización y esta carente de funcionalidad (Chew Ka , Iacono, & Tracy, 2009).

5. Niños en los que la comunicación se lleva a cabo mediante de un lenguaje oral y/o lecto escrito, no obstante, quedan evidentes déficits pragmáticos y/o formales (Aspace, 2014).

6. Niños que poseen poco interés en la comunicación o las oportunidades de desarrollarla han sido muy pocas, debido a que no se pueden movilizar como cualquier otro niño de su edad, con contactos sociales escasos, presentan movilidad reducida a su cama o están la mayor parte del tiempo en alguna silla especial sentados (Sanclemente, 1982; Palsy, 2019; Morales Vaquero, 2017).

7. Niños con diferencias marcadas entre su edad cronológica y su edad cognitiva, causando un retraso en sus funciones físicas que debieron ser entrenadas en un instante explícito para obtener un buen desarrollo (Aspace, 2014).

8. Niños donde la inhalación logra ser escasa o estar mal regularizada; otras veces se provoca un bloqueo de los músculos que interceden en la voz, por ende, consigue presentar

diversas alteraciones y terminar lenta, monocorde, espasmódica, con dificultad para la entonación o, de otro modo, con fuertes variaciones de tono y/o velocidad (Ayala, 2012).

9. Niños donde la lengua generalmente está fija dentro de la boca con poco movimiento (Aspace, 2014).

Estos no son todos los problemas y casos existentes durante el proceso de desarrollo de las competencias comunicativas de un niño con parálisis cerebral, pero nos hacen una idea global del problema vivido por estos pacientes.

Por último, se quiso exponer desde un punto de vista de ingeniera la posibilidad que tienen las técnicas de inteligencia artificial como las redes neuronales convolucionales para afrontar los problemas presentados anteriormente, para esto se realizó una revisión bibliográfica identificando algunos usos de estas redes en entornos clínicos.

Las redes neuronales convolucionales han sido de gran importante en la trayectoria y desarrollo con respecto a las redes neuronales artificiales, son un claro ejemplo de emplear el estudio biológico y fisiológico del cerebro para el desarrollo de algoritmos artificiales dentro del área del machine learning, y más concretamente del deep learning.

Desde la década de los 90’ se planteaban los usos que estas redes podrían tener en problemas médicos, pero debido a la tecnología limitada de la época no era posible llevarlos a la realidad, pero en los tiempos actuales muchos de estos usos ya son una realidad gracias a los avances tecnológicos logrados en hardware, así como también los avances surgidos en las técnicas de aprendizaje (Delgado, 1999).

Algunos de los usos son:

i) Detección de cáncer a través del análisis de imágenes obtenidas de ultrasonidos, resonancias magnéticas, medicina nuclear para apoyar al diagnóstico médico en la búsqueda de patrones o anomalías que el ojo humano puede pasar por alto (Hinton, 2018).

ii) Prevención de infartos, esto a través de suministrarle a la red imágenes obtenidas de ecografías del corazón de pacientes para que la red se entrene y sea capaz de detectar y apoyar al diagnóstico médico identificando y previniendo así potenciales infartos (Hinton, 2018; Miotto, Fei, Shuang, Xiaoqian, & Dudley, 2018).

iii) Prevención de enfermedades neurológicas como alzhéimer, párkinson, epilepsia, migraña, esto logrado a través de suministrarle a la red para su entrenamiento imágenes de resonancias magnéticas de pacientes para que aprenda a identificar los patrones presentes en este tipo de enfermedades y así apoyar al diagnóstico médico (Hinton, 2018; Miotto, Fei, Shuang, Xiaoqian, & Dudley, 2018).

iv) Detección de enfermedades oculares como el glaucoma, retinopatía, edema macular, logrado a partir de suministrarle fotografías a la red del fondo de la retina del paciente (Hinton, 2018; Miotto, Fei, Shuang, Xiaoqian, & Dudley, 2018).

v) Recientemente se les ha dado a estas redes el uso de identificar casos de COVID-19 a través de suministrarles imágenes de radiografías de pacientes con COVID-19 para que la red aprenda de estos y logre ayudar a los médicos a identificar rápidamente dichos casos (Panwar, Gupta, Mohammad, Morales-Menendez, & Vaishnavi, 2020).

Estos son solo algunos usos relevantes que hoy día se les da a las redes neuronales convolucionales, determinando así que estas redes tienen un papel importante en la innovación de los diagnósticos y tratamientos de salud, y que sus usos pueden ser extrapolados a otros problemas de salud como los presentados por pacientes con parálisis cerebral a nivel de comunicación.

7 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y METODOLOGÍAS ASOCIADAS A LA COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL.

En este capítulo se describe con detalle la propuesta de herramienta tecnológica y como esta se asocia al proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral, así como los distintos experimentos planteados para el diseño de la herramienta.

En la presentación de la propuesta se pretendió indagar acerca del uso de los sistemas alternativos y aumentativos de comunicación apoyados en técnicas de redes neuronales convolucionales en pacientes con parálisis cerebral, haciendo énfasis en la importancia del progreso de las habilidades comunicativas en los niños y su participación en diferentes ámbitos de la vida cotidiana, facilitando de esta manera, la inclusión social, mediante una revisión bibliográfica y que debe tener en cuenta todo el conocimiento científico anterior sobre el tema de interés.

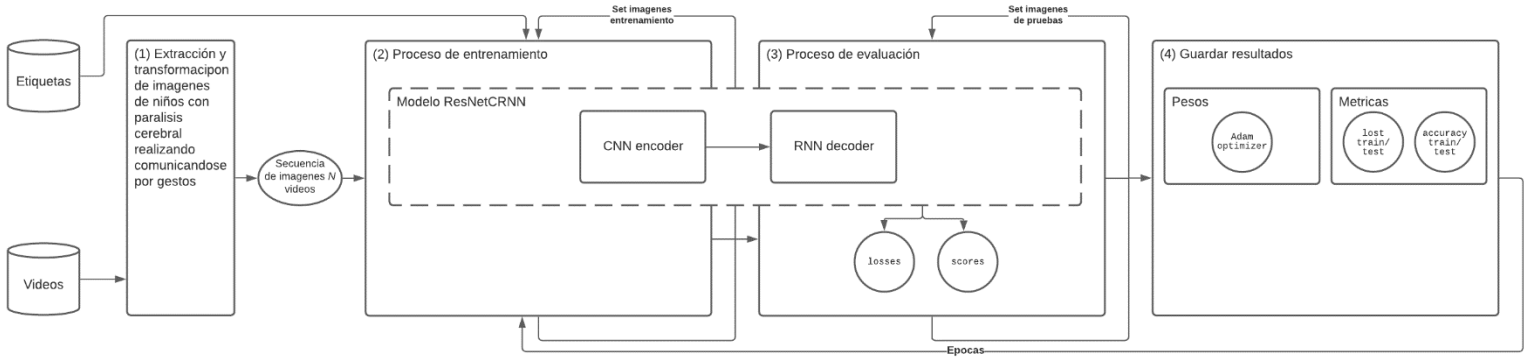
El modelo de la Figura 3 se diseñó con el fin de lograr abstraer y aprender de la comunicación kinésica (descrita en la sección 6) en los enfermos con parálisis cerebral, haciendo énfasis resaltando la importancia del lenguaje para el desarrollo psicológico de estos niños, lo que nos lleva directamente a pensar en los sistemas alternativos y aumentativos de comunicación y como estos pueden beneficiarse de las técnicas de aprendizaje profundo como las redes neuronales convolucionales para así, proponer herramientas tecnológicas que favorezcan el desarrollo de competencias comunicativas de los pacientes con parálisis cerebral.

Con el modelo planteado de red neuronal convolucional, se quiere alcanzar un punto donde se pueda clasificar correctamente todo tipo de procesos de comunicación kinésica en niños con parálisis cerebral y así poder llegar a utilizarla como una herramienta alternativa de comunicación.

Las redes neuronales convolucionales cuentan con la capacidad de poder clasificar ampliamente características y patrones directamente de imágenes como fuente, teniendo así la posibilidad de llegar a aplicaciones más complejas como procesar no solo imágenes sino videos como se observó en la figura 1 (Ramírez & Castaño, 2007).

Definiendo de base que un video es una sucesión de imágenes, se propone entonces un modelo de la red neuronal convolucional, posterior de una revisión bibliográfica presentadas en la Tabla 2, se identificaron algunos modelos existentes de clasificación de imágenes con redes neurológicas convolucional pertinentes para ser utilizados en la red neuronal propuesta.

Analizando cada una de las características de los modelos consultados se escogió el modelo pre entrenado ResNetCRNN como base para nuestro modelo de RNC luego de experimentar con los modelos de la Tabla 3, con los parámetros comunes establecidos en la Tabla



5 y así se logró diseñar el modelo presentado en la Figura 3, para nuestra red neuronal convolucional.

Figura 3 Modelo de red neuronal planteado, Fuente: Elaboración propia

En el modelo de red neuronal convolucional planteado se parte de un conjunto de videos obtenidos de bases de datos públicas (University of central florida, 2021) donde aparecen

humanos realizando acciones y algunos videos de niños con parálisis cerebral realizando gestos de comunicación que serán utilizados durante todo el proceso de entrenamiento.

En el proceso 1, los videos utilizados pasan por un proceso de extracción y transformación, resultando en imágenes identificando el bloque de imágenes que corresponden a los *N* videos del conjunto de datos los cuales serán distribuidos de manera aleatoria en los procesos siguientes como se presenta en la Figura 4.

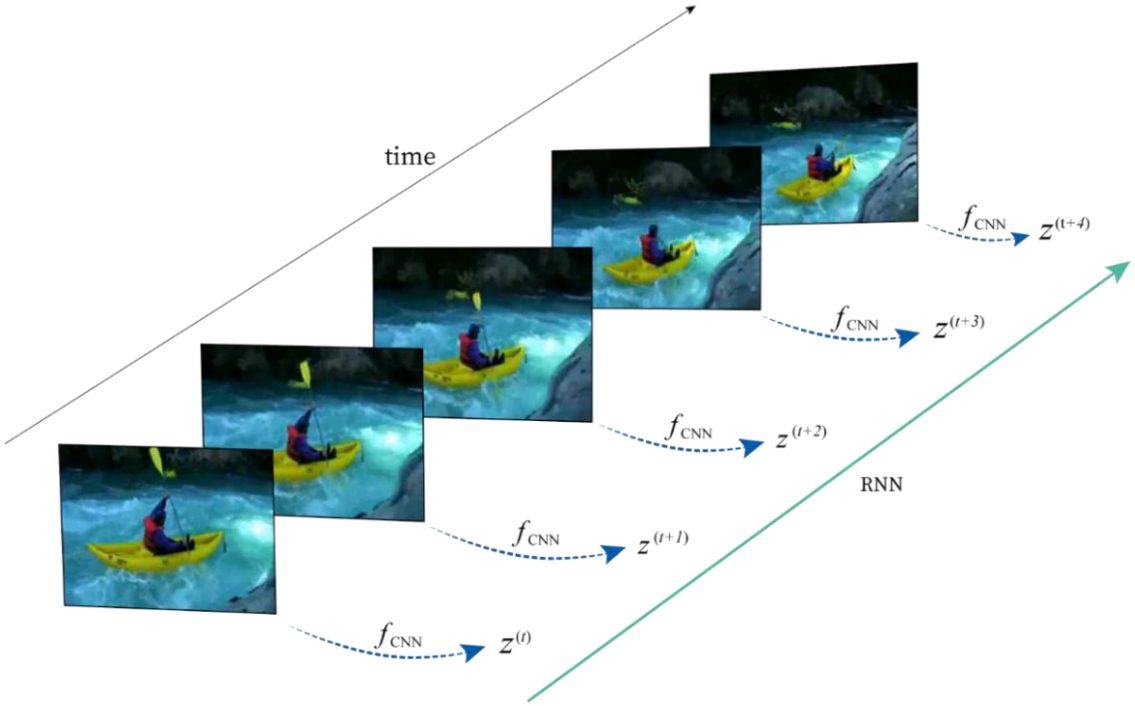


Figura 4 Flujo de imágenes secuenciales en un video, Fuente: (Huang, Tseng, Chien, & Chien, 2019)

El proceso 2 es de entrenamiento, se le suministro a la red de forma supervisada las imágenes indicándole que acción se realiza en cada imagen a través de etiquetas, para que posteriormente el modelo ResNetCRNN codifique la imagen y realice el aprendizaje en el modelo con las etiquetas suministradas para que sea capaz de clasificar la acción que representa

la imagen y poder decodificarla y generar la imagen correctamente como se presenta en la Figura 5.

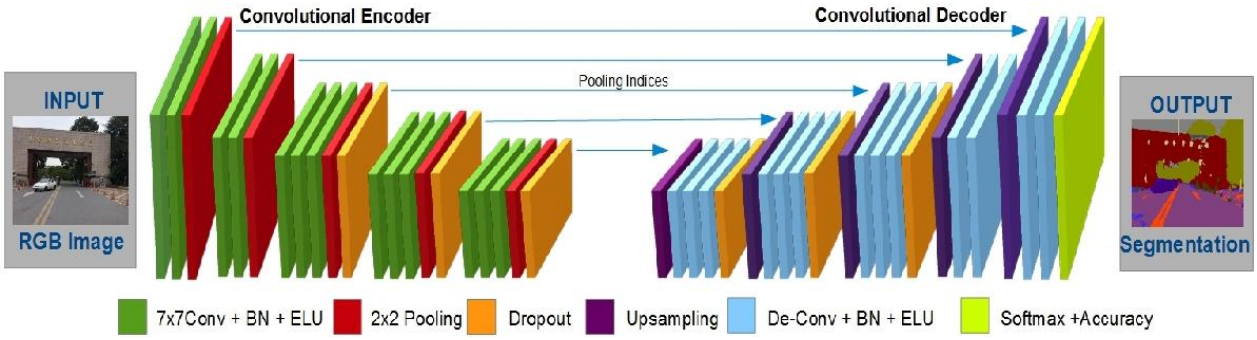


Figura 5 Ejemplo de codificación y decodificación de entradas en una RNC, Fuente: (Ramírez & Castaño, 2007)

En cada iteración del entrenamiento, se actualizan los pesos a través la función de activación softmax utilizando un descenso de gradiente estocástico con el algoritmo de aprendizaje Adam.

En el proceso 3, se realizan las pruebas con los datos nuevos desconocidos por el modelo una vez que este se halla entrenado y sin suministrarle las etiquetas que indiquen que acción se presenta en dichos videos, actualizando nuevamente los pesos en cada iteración de la misma forma anterior.

En el proceso 4, guardamos los resultados de la ejecución del modelo los cuales son los pesos finales y el porcentaje de exactitud y perdida del modelo, para poder ser utilizado posteriormente con más datos en la herramienta puesta en marcha o para reentrenarlo con nuevos datos.

El código fuente del modelo fue escrito en Python y puede ser consultado en el repositorio público de Git (Avila Gutierrez, 2020).

Debido a la complejidad y variabilidad de los elementos presentados en el proceso de comunicación en pacientes con parálisis cerebral, se planteó el modelo de RNC descrito anteriormente para que fuese capaz de favorecer el desarrollo de la competencia kinésica de comunicación en estos niños, en el cual desde el punto de vista de ingeniera se pudo demostrar con los resultados de los experimentos realizados presentados en la Tabla 6, que utilizar un modelo de RNC como alternativa de comunicación no verbal en niños con parálisis cerebral es viable.

8 CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES FUNCIONALES ENTRE LOS ELEMENTOS INTERVINIENTES EN EL PROCESO DE COMUNICACIÓN EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL

Este capítulo describe las relaciones entre los elementos pertenecientes al marco metodológico propuesto; al igual que en capítulos anteriores, se conservan los conceptos que fueron revisados durante el desarrollo del modelo planteado, pero no fueron vislumbrados en los capítulos anteriores los cuales fueron necesarios para poder desarrollar el modelo planteado.

Inicialmente cabe destacar, que el modelo pre entrenado escogido para el modelo de Red Neuronal Convolucional no fue el primero ni el único en ser revisado, este resulto escogido luego de distintos filtros y pruebas realizadas a otros modelos para modelos de clasificación de imágenes de diferentes autores, dicho listado podemos encontrarlo en la Tabla 2.

Nombre del modelo de RNC	Autor/País/ Año	Nombre del Texto	Aporte	Grado de importancia y relevancia en la investigación
LeNet	Yann LeCun, Leon Bottou, Yoshua Bengio, Patrick Haffner/Canada/1998	Gradient-Based learning applied to document recognition	LeNet se usó para el reconocimiento de dígitos escritos a mano y fue capaz de superar a todos los demás métodos existentes con facilidad. La arquitectura LeNet era bastante simplista, con solo 5 capas compuestas de convoluciones 5 * 5 y agrupación máxima 2 * 2, pero allanó el camino hacia modelos mejores y más complejos. (LeCun, 1998).	LeNet fue la primera arquitectura de RNC que utilizó la propagación inversa para aplicaciones prácticas
Alex Net	Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton/Canada/2012	ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks	AlexNet utiliza unidades lineales rectificadas (ReLU) en lugar de la función tanh, que era estándar en ese momento. La ventaja de ReLU está en el tiempo de entrenamiento; una RNC que usaba ReLU pudo alcanzar un error del 25% en el conjunto de datos CIFAR-10 seis veces más rápido que una RNC que usaba tanh (Krizhevsky, 2012).	AlexNet permite el entrenamiento en múltiples GPU al colocar la mitad de las neuronas del modelo en una GPU y la otra mitad en otra GPU. Esto no solo significa que se puede entrenar un modelo más grande, sino que también

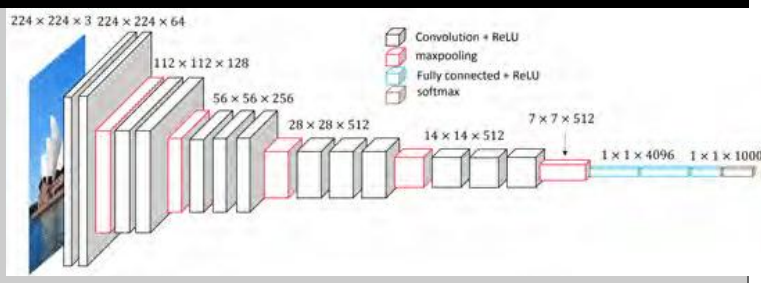
				reduce el tiempo de entrenamiento.
ZFNet	Matthew D. Zeiler and Rob Fergus/USA /2013	Visualizing and Understanding Convolutional Networks	ZFNet plantea que no hay una comprensión clara de por qué funcionan tan bien o cómo podrían mejorarse las redes neuronales. En este documento abordamos ambos problemas. Introducimos una nueva técnica de visualización que proporciona información sobre la función de las capas de entidades intermedias y el funcionamiento del clasificador. También realizamos un estudio de ablación para descubrir la contribución al rendimiento de diferentes capas del modelo (Zeiler, 2014).	Al visualizar la red convolucional capa por capa, ZFNet ajusta los hiperparámetros de la capa, como el tamaño del filtro o la zancada de Alex Net, y reduce con éxito las tasas de error.
GoogLeNet	Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich/ USA/2014	Going Deeper with Convolutions	La marca predominante de este diseño es la conducción reformada de los recursos informáticos intrínsecamente de la red. Esto se logró mediante un diseño cuidadosamente diseñado que permite aumentar la profundidad y el ancho de la red mientras se mantiene constante el presupuesto computacional. Para optimizar la calidad, las decisiones arquitectónicas se basaron en el principio hebbiano y la intuición del procesamiento a múltiples escalas (Szegedy, 2015).	GoogLeNet emplea la idea de múltiples clasificadores auxiliares presentes entre los modelos para evitar que el gradiente muriera.
VGGNet	Karen Simonyan, Andrew Zisserman/ USA/2015	Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition	Implementación de filtros muy pequeños con 3 x 3 en todo el camino, usó filtros pequeños debido a la menor cantidad de parámetros y apiló más en lugar de tener filtros más grandes. La arquitectura VGG tiene el número total de 16 capas convolucional y totalmente conectadas (Simonyan, 2014).	VGGNet es la idea de redes mucho más profundas y con filtros mucho más pequeños
ResNet	Kaiming He Xiangyu Zhang Shaoqing Ren Jian	Deep Residual Learning for Image Recognition	La Red Residual (Residual Network, ResNet), Su mayor marca se debe a que el modelo ResNet permitió originalmente preparar redes muy profundas (de más de 100 capas);	Clasificar secuencias de imágenes que no guarden continuidad entre capas, que es un fenómeno muy frecuente en la mayoría

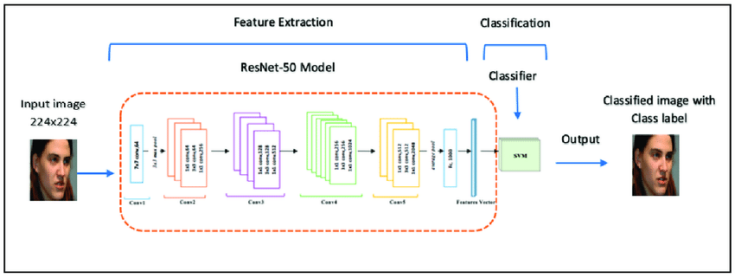
	Sun/USA/2015		inspeccionando con éxito el inconveniente de Desvanecimiento de Gradiente (Vanishing Gradient). Las redes excedentes se atraen en el hecho orgánico de que algunas neuronas se enlazan con neuronas en mantos no precisamente contiguas, saltando capas intermedias (He, 2016).	de los datos.
YOLO	Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi/USA/2016	You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection	YOLO, un nuevo enfoque para la identificación de objetos. El trabajo previo en este reutiliza los clasificadores para realizar la identificación. En cambio, enmarcamos la detección de objetos como un problema de regresión a cuadros delimitadores espacialmente separados y probabilidades de clase asociadas. Una sola red neuronal predice cuadros delimitadores y probabilidades de clase directamente de imágenes completas en una evaluación. Dado que todo el pipeline de detección es una red única, se puede optimizar de extremo a extremo directamente en el rendimiento de detección (Redmon, 2016).	Funciona a más de 150 fps. Esto significa que podemos procesar la transmisión de video en tiempo real con menos de 25 milisegundos de latencia.
ResNetCRNN	Yu-Min Huang. Huan-Hsin Tseng, Jen-Tzung Chien / Taiwan – USA / 2019	Stochastic Fusion for Multi-stream Neural Network in Video Classification	Este trabajo presento una nueva red neuronal recurrente de múltiples flujos donde los flujos son estrechamente enlazados en cada paso de tiempo. Es importante destacar que propone un mecanismo de fusión estocástica para múltiples flujos de datos de video basados en las muestras de Gumbel para aumentar el poder de predicción. Se implementó un algoritmo de retro propagación estocástica para llevar una red neuronal de flujo múltiple con fusión estocástica basada en una optimización conjunta de codificador convolucional y recurrente (Huang, Tseng, Chien, & Chien, 2019).	Al utilizar una red neuronal recurrente sumado a las capacidades de la arquitectura de la red residual da como resultado una mejor exactitud en el algoritmo de clasificación planteado en la investigación.

Tabla 2 Modelos pre entrenados de RNC. Fuente: Elaboración propia

Se define un común denominador luego de realizar la revisión de los modelos de redes neuronales convolucional, descritos en la Tabla 2, para determinar su comportamiento en problemas relacionados con el problema planteado en nuestra investigación, el cual recordemos se trata de clasificación de acciones humanas en videos, esto para evitar realizar experimentos con modelos que su arquitectura no es recomendada para solucionar problemas de clasificación de imágenes.

Resultado de dicha revisión se escogió una terna con los modelos más relevantes para dicho tipo de problemas y sus características favorables a resaltar en nuestro modelo, dicho análisis dio los resultados presentados en la Tabla 3.

Modelo	Características	Arquitectura
VGGNet	● Mientras que los derivados anteriores de AlexNet se centraron en tamaños de ventana más pequeños y pasos en la primera capa convolucional, VGG aborda otro aspecto muy importante de las RNC, la profundidad. ● Su arquitectura se basa principalmente en que VGG toma una imagen RGB de 224x224 píxeles en cada imagen para mantener consistente el tamaño de la imagen de entrada. ● Las capas convolucionales en VGG usan un campo receptivo muy pequeño (3x3, el tamaño más pequeño posible que aún captura izquierda / derecha y arriba / abajo). También hay filtros de convolución 1x1 que actúan como una transformación lineal de la entrada, seguida de una unidad ReLU. La zancada de convolución se fija en 1 píxel para que la resolución espacial se conserve después de la convolución.	

	• VGG tiene tres capas completamente conectadas: las dos primeras tienen 4096 canales cada una y la tercera tiene 1000 canales, 1 para cada clase. • Todas las capas ocultas de VGG utilizan ReLU (una gran innovación de AlexNet que redujo el tiempo de entrenamiento). VGG generalmente no usa la Normalización de respuesta local (LRN), ya que LRN aumenta el consumo de memoria y el tiempo de entrenamiento sin un aumento particular en la exactitud. • Los filtros de convolución de tamaño pequeño permiten que VGG tenga una gran cantidad de capas de peso; por supuesto, más capas conduce a un rendimiento mejorado (Simonyan, 2014).	
ResNet	• ResNet permite entrenar hasta cientos o incluso miles de capas y aún logra un rendimiento atractivo • VGG tenían 19 capas convolucionales, Sin embargo, aumentar la profundidad de la red no funciona simplemente apilando capas. Las redes profundas son difíciles de entrenar debido al notorio problema del gradiente de desaparición: dado que el gradiente se propaga hacia atrás a capas anteriores, la multiplicación repetida puede hacer que el gradiente sea infinitivamente pequeño. Como resultado, a medida que la red se profundiza, su rendimiento se satura o incluso comienza a degradarse rápidamente. La idea central de ResNet es introducir una llamada "conexión de acceso directo de identidad" que omite una o más capas para solucionar el problema de degradación del gradiente.	

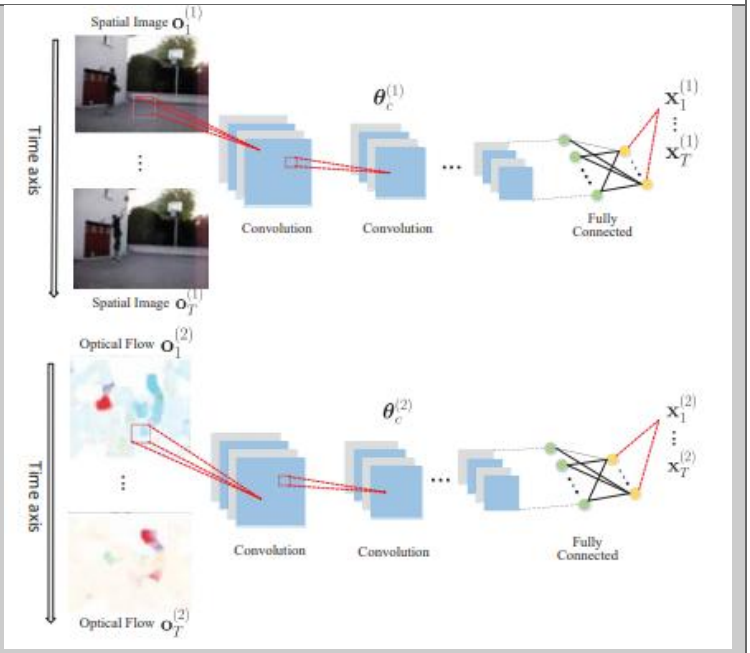
	• La red ResNet converge más rápido en comparación con su contraparte simple. • Atajos de identidad vs proyección. Ganancias incrementales muy pequeñas usando atajos de proyección en todas las capas. Por lo tanto, todos los bloques de ResNet usan solo atajos de identidad con atajos de proyecciones que se usan solo cuando cambian las dimensiones (He, 2016).	
ResNetC RNN	• Plantea otra forma de clasificación de videos, dándole importancia al flujo óptico (desplazamiento de imagen a imagen consecutiva del video) que proporciona información adicional que modelos los modelos anteriores obviaban mejorando así el rendimiento del modelo. • Introduce la fusión estocástica en estados ocultos de la memoria de largo plazo de la red, que hace que los flujos de información se mezclen más y se beneficia de la información mutua. • Aprovecha una mejor fusión de información, el modelo supera a otros métodos basados en Redes neuronales residuales. • Debido a la fusión estocástica, el uso de múltiples flujos es más interpretable y completo con el uso del modelo (Huang, Tseng, Chien, & Chien, 2019).	

Tabla 3 Características modelos pre entrenados escogidos, Fuente: Elaboración propia.

Por último, con estos 3 modelos se decidió colocarlos a prueba en nuestro modelo y analizar los resultados entregados, y los parámetros comunes de estos experimentos fueron los establecidos en la Tabla 4.

Parámetro	Valor
Videos de entrada	13350
Epoch	150
Frame rate	5
Target size image	224
Categorías	101
Learning algorithm	Adam
Métricas	accuracy/loss
Neuronas de salida	101
GPU	1 Tesla K80

Tabla 4 Parámetros experimentos, Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, el conjunto de datos se divide en dos conjuntos: entrenamiento y prueba, el primero corresponde al 80% de los videos y el segundo al 20%, dividido de esta forma para evitar un overfitting (sobre entrenamiento) (Sanchez Sanchez, García González, & Rúa Ascar, 2020). Las capas ocultas en los experimentos variaron dependiendo al modelo pre entrenado y fueron establecidas de esta forma por la documentación hallada de cada modelo, la cantidad de capas se relaciona en la Tabla 5.

Modelo	Numero de capas ocultas
VGGNet	16
ResNet	50
ResNetCRNN	512

Tabla 5 Número de capas ocultas por modelo pre entrenado, Fuente: Elaboración propia

Luego de ejecutar el algoritmo con cada modelo pre entrenado el resultado fueron las métricas presentadas en la Tabla 6.

Modelo	% Exactitud (accuracy)	% Perdida (loss)
VGGNet	44.8	64.99
ResNet	22.4	45.6
ResNetCRNN	84.6	10.4

Tabla 6 Resultados de experimentos, Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados se escogió como ganador indiscutible al modelo ResNetCRNN con una exactitud *>80%*, dicho de otra manera, este resultado significa que el modelo de red neuronal planteado en esta investigación es capaz de clasificar correctamente 8 de cada 10 videos de acciones humanas y devolver en texto el nombre de la acción identificada de las 101 categorías definidas.

Es necesario analizar también la causa del porque el modelo ganador tenía un mejor desempeño en exactitud que los otros 2 modelos, pero un mayor consumo de recursos máquina para ser entrenados en nuestra red, entendiendo así, que dicho modelo presentaba unas características distintas a los anteriores revisados, y aunque fue desarrollado basado en problemas de clasificación de imágenes, este va más allá y no toma las imágenes como datos estáticos sino

que obtiene toda la secuencia de imágenes que componen al video, siendo capaz de manejar el flujo temporal de este a través de imágenes y entender en conjunto la acción realizada, no solamente en la imagen presentada sino a través de toda la secuencia conjunta de imágenes, dándole así una diferencia de los otros modelos que realizaban dicho proceso teniendo únicamente la imagen suministrada y no todo el conjunto.

Aunque los resultados demostraron que el modelo ganador fue ResNetCRNN, se debe tener en cuenta que los videos de acciones humanas son muy variables y para los experimentos se implementaron 101 categorías, pero en el mundo real estas categorías pueden ya sea aumentar, disminuir o cambiar por otras a través del tiempo, por lo tanto, no se pueden descartar los otros modelos una vez que esto llegue a pasar.

El costo computacional del modelo ResNetCRNN es un factor importante para tener en cuenta, debido a que este puede ser manejado de momento, es necesario plantear técnicas de Transfer Learning, para disminuir este costo y evitar que se vuelva en un crecimiento exponencial en un futuro.

Es perentorio agregar que en los resultados obtenidos, solo se utilizaron métodos de medición de exactitud y perdida para determinar el modelo pre entrenado ganador para ser utilizado en nuestra RNC, se analizaron y evaluaron otros métodos de medición para modelos de aprendizaje profundo en problemas de clasificación de imágenes, pero no se tuvieron en cuenta debido a que estos elevaban aún más el costo computacional y los tiempos de ejecución de cada experimento, dichos métodos de medición fueron: i) Matriz de confusión, con la cual podríamos garantizar realmente si en la clasificación realizada hubieron datos marcados como falsos positivos por el modelo escogido como ganador, es decir que determino un resultado como correcto pero en realidad la acción que se clasifico no era la correcta; ii) Exhaustividad y

sensibilidad, con la que se podría conocer la cantidad de verdaderos positivos que el modelo clasifico en función del número total de valores positivos; iii) Precisión: con la que se podría medir la cantidad de verdaderos positivos que son realmente positivos en comparación con el número total de valores positivos predichos por el modelo; iv) Puntuación F1: el cual es la combinación de las métricas de precisión y exhaustividad y hubiese servido como compromiso entre ellas (Fayrix, 2021). Se puede decir entonces, que el modelo escogido como ganador, fue ganador por los métodos de medición utilizados, pero que este resultado pudiese llegar a cambiar si se aplican otros métodos de medición.

9 CONCLUSIONES

Como conclusiones generales de la realización de este proyecto, a continuación, se da respuesta a la pregunta de investigación, se enunciarán los aportes de los objetivos, luego se muestran generalidades del proceso y por último algunas recomendaciones y trabajos futuros.

9.1 RESPUESTA A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo promover el desarrollo de competencias comunicativas a través del uso de herramientas tecnológicas en niños con parálisis cerebral?

Debido a la complejidad y variabilidad de los elementos presentados en el proceso de comunicación en pacientes con parálisis cerebral, se planteó un modelo que fuese capaz de aportar o reemplazar la competencia kinésica de comunicación en estos niños, con el uso de herramientas tecnológicas, apoyadas en redes neuronales convolucionales para su exactitud.

Abordar el marco metodológico desde un enfoque holístico, permitió analizar el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral como un todo y enfocarse en el problema del desarrollo presentado, pero también permitió analizar el funcionamiento de cada uno de los elementos intervinientes en detalle, además de las relaciones con el medio y con los elementos anteriores, permitiendo formular una propuesta integradora que puede servir a cualquier investigación futura basada en esta.

APORTES DE LOS OBJETIVOS

A continuación, mostraremos el aporte de cada uno de los objetivos al proyecto de investigación.

Identificar los fundamentos teóricos y epistemológicos asociados con los procesos de comunicación en niños con parálisis cerebral.

El desarrollo de este objetivo demostró como los fundamentos teóricos que se detallaron en la revisión de la literatura, relacionados con el proceso de desarrollo de las competencias comunicativas en pacientes con parálisis cerebral, pueden ser abordados desde un enfoque holístico, detallándolos uno a uno y también funcionando de manera sincronizada.

Describir los procesos y metodologías asociadas con el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral.

Este objetivo incluyó una descripción técnica detallada basada en el concepto sistémico de los procesos intervinientes en el desarrollo de comunicación en niños con parálisis cerebral, analizando dichos elementos desde un punto de vista técnico y así poder aportar una solución tecnológica a aquellos elementos que permitiesen su favorabilidad o reemplazo por herramientas tecnológicas, como la comunicación no verbal trasmitidos en videos de acciones.

Caracterizar las relaciones funcionales entre los elementos intervinientes en el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral.

Debido a la complejidad de cada una de las fases del marco metodológico planteado, fue necesario realizar una descripción detallada de cada uno de los conceptos que no pudieron ser abordados completamente en la revisión de literatura, pero que fueron necesarios como punto de referencia para lograr el modelo planteado en la investigación.

9.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de este proyecto está relacionado con cualquier otra investigación que requiera aplicar los conceptos acá presentados dentro del área de inteligencia artificial, donde estos conceptos se puedan integrar bajo un enfoque sistémico estructural, así a su vez, existen algunas limitaciones como son:

- No es posible afirmar que todos los niños con parálisis cerebral podrán favorecerse de igual forma del uso de la herramienta planteada en la investigación, debido a la heterogeneidad de los síntomas por el tipo de patología.
- Se debe abordar el impacto de la edad de los niños como factor interviniente dentro del desarrollo de las competencias comunicativas para los pacientes con parálisis cerebral en conjunto con un profesional de salud.
- Para escalar la investigación a un producto comercial, es necesario cambiar la arquitectura técnica de cliente-servidor por otra distinta que implemente técnicas de Transfer Learning, porque la antes mencionada tendría costos de infraestructura y tiempos de entrenamientos muy elevados al ser utilizada la herramienta masivamente.
- Se debe integrar el uso de la herramienta propuesta con el tratamiento realizado por profesionales de la salud a niños con parálisis cerebral, para que los resultados puedan ser favorables.
- Debido a la pandemia vivida por la humanidad durante el desarrollo de esta investigación, se debió obviar para prevenir afectaciones a la salud de los niños de muchas pruebas que ayudarían a un mejor entrenamiento del modelo de red

neuronal convolucional propuesto y alcanzar completamente los objetivos propuestos.

9.3 RECOMENDACIONES / TRABAJOS FUTUROS

Éste trabajo muestra una propuesta de herramienta tecnológica, para favorecer el desarrollo de competencias comunicativas en niños con parálisis cerebral, enfocándonos en la arquitectura del modelo planteado para dicha herramienta, basándonos en los elementos intervinientes en el proceso de comunicación en niños con parálisis cerebral, sin embargo, no se aborda a profundidad sobre la arquitectura y diseño de la herramienta tecnológica planteada desde el punto de vista del desarrollo de software por no ser el foco de la investigación.

Como trabajos futuros y para que la investigación pueda continuar en sus fases posteriores, se pretende realizar un artículo científico resultado del proceso investigativo, así como también se propone poder continuar con la investigación, desde otro enfoque, con tendencias más hacia la realización de pruebas dentro de un tratamiento tradicional, llevado a cabo por un profesional de la salud con el fin de poder analizar la favorabilidad del uso de la herramienta planteada en el tratamiento de un niño con parálisis cerebral.

Realizar nuevos experimentos con nuevos datos poniendo a prueba los 3 modelos pre entrenados (ResNet, VGGNet, ResNetCRNN), aplicando más técnicas de medición para garantizar que el modelo escogido como ganador realmente lo hubiese merecido.

Por último, se propone en un futuro, la construcción y puesta en marcha del producto tecnológico resultante de esta investigación, para que pueda así, ser implementada en dispositivos tecnológicos y favorecer a la mayor población con parálisis cerebral posible.

REFERENCIAS

Abraham, W. (1981). *Diccionario de la terminología lingüística actual.* Madrid: Gredos.

Abril Abadín, D., Delgado Santos, C. I., & Vigara Cerrato, Á. (2012). *Comunicación aumentativa y alternativa. Guía de referencia* (3 ed.). Madrid: CEAPAT.

Aripin, N., & Noor, H. R. (2019). *Non-verbal communication and writing: exploring writing anxiety in the writing process through kinesics.*

Aspace, C. (2014). *Descubriendo la parálisis cerebral.* Obtenido de https://www.guiadisc.com/wp-content/uploads/Descubriendo-la-paralisis-cerebral.pdf

Avila Gutierrez, L. (21 de 01 de 2020). *Github*. Obtenido de https://github.com/zluis1992/video-classification

Ayala, J. (2012). LA COMPETENCIA COMUNICATIVA EN PERSONAS QUE PRESENTAN PARÁLISIS CEREBRAL. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación y docencia creativa*(1), 158-163.

Baños, R. (2012). Los aspectos no verbales en la comunicación intercultural. *Ra Ximhai, 8*(2), 223-239.

Berruto, G. (1974). *La sociolinguistica* (1 ed.). Zanichelli.

Birdwhistell, R. (1952). *Introduction to kinesics : an annotation system for analysis of body motion and gesture.* University of Michigan Library.

Busto Barcos, M. d. (1988). *Reeducación del Habla y del Lenguaje en el Paralítico Cerebral.* Marid: Cepe.

Camacho-Salas, A., Pallás-Alonso, C., de la Cruz Bértolo, J., Simón de las Heras, R., & Mateos-Beato, F. (2007). Parálisis cérébral : concepto y registros de base poblacional. *Revista De Neurologia, 45*(8), 503-508.

Canale, M., & Swain, M. (1980). THEORETICAL BASES OF COMMUNICATIVE APPROACHES TO SECOND LANGUAGE TEACHING AND TESTING. *Applied Linguistics, 1*(1), 1-47.

Carey, J. W. (1989). *Communication as culture. Essays on media and society.* Nueva York, EE.UU./Londres, Inglaterra: Routledge.

Castellanos, G., & Castellanos, R. (2007). Evaluación diagnóstica del niño con parálisis cerebral. *Revista Cubana de Pediatría, 79*(2).

Chew Ka , L., Iacono, T., & Tracy, J. (13 de Enero de 2009). Overcoming communication barriers: Working with patients with intellectual disabilities. *Australian family physician, 38*(1/2), 10-14.

Chomsky, N. (2011). *Current Issues in Linguistic Theory* (1 ed., Vol. 38). Walter de Gruyter.

DANE, D. N. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018.* Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

De Saussure, F. (1994). *Curso de Linguistica General.* Buenos Aires: Losada .

Delgado, A. (1999). Aplicación de las Redes Neuronales en Medicina. *LA INFORMÁTICA Y EL CONOCIMIENTO*, 221-223.

Evans, P. R. (1948). Problems in the classification of cerebral palsy in childhood. *Archives of Disease in Childhood, 23*, 213.

Fayrix. (6 de 2 de 2021). *Fayrix*. Obtenido de https://fayrix.com/machine-learning-metrics_es

Gulati, S., & Vishal, S. (2018). Cerebral palsy: an overview. *The Indian Journal of Pediatrics*, 1006-1016.

Gumperz, J., & Hymes, D. (1972). *Directions in Sociolinguistics: The Ethnography of Communication* (1 ed.). John Wiley & Sons.

He, K. Z. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 770-778.

Hernández, E., & Conde, B. (2009). Competencia Comunicativa: Evolución cronológica del término y sus elementos constitutivos. *Humanidades Médicas, 9*(1).

Hinton, G. (2018). Deep learning—a technology with the potential to transform health care. *Jama*, 1101-1102.

Huang, Y.-M., Tseng, H.-H., Chien, J.-T., & Chien, J.-T. (2019). Stochastic Fusion for Multi-stream Neural Network in Video Classification. *2019 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, 69-74.

Hurtado de Barrera, J. (2016). *Metodología de la Investigacion Holistica.* Caracas,(Venezuela): Quiron Editores-CIEA Sypal.

Hurtado De Barrera, J., & Barrera Morales, M. (2000). *Metodología de la investigación holística.* Instituto Universitario de Tecnología Caripito.

Hutter, F. K. (2019). *Automated machine learning: methods, systems, challenges.* Springer Nature.

Hymes, D. (1972). On communicative competence. *Sociolinguistics*, 269-293.

Jarmer. (2005). *The Practice of English Language Teaching.*

Knapp Mark, L. (1982). *La comunicación no verbal, el cuerpo y el entorno.* Barcelona-Buenos aires-México: Paidós.

Kosselleck. (2002). *he practice of conceptual history. Timing history,.*

Krizhevsky, A. S. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 1097-1105.

Kuban, K. C., & Leviton, A. (1994). "Cerebral palsy" New England Journal of Medicine, 330, 188--195. Pagano, M., Fenton, T., Strassfeld, R., Wolff, M.(1992)'Maternal toxemia is associated with reduced incidence of germinal matrix hemorrhage in premature babies. *Journal of Child Neurology, 7*, 70-76.

Kuczyńska-Skrzypek, A., & Saville-Troike, M. (1987). "The ethnography of communication : An Introduction", Muriel Saville-Troike, Seria: Language in Society, nr 3, Basil Blackwell, Oxford 1982 : [recenzja] / Anna Kuczyńska-Skrzypek. *Etnografia Polska, 31*(1).

LeCun, Y. B. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 2278-2324.

Lehtonen. (2009). *Nonaka's knowledge creation theory revisited: A Semiotic. Analysis of Communicating.*

Lomas, C., & Tusón, A. y. (1996). *Ciencias del lenguaje,.*

Londoño González, B., & Sánchez Sánchez, P. (2015). Algoritmo Novedoso Para la Detección de Tareas Repetitivas en el Teclado. *Investigación e Innovación en Ingenierías*.

Mathworks. (13 de 08 de 2020). *mathworks*. Obtenido de https://la.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html

Minsky, M. (1988). *Society of mind.* Simon and Schuster.

Miotto, R., Fei, W., Shuang, W., Xiaoqian, J., & Dudley, J. T. (2018). Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Briefings in bioinformatics*, 1236-1246.

Morales Vaquero, R. (2017). *Terapias logopédicas emergentes aplicadas a la parálisis cerebral infantil: Propuesta de intervención en la Educación Primaria.*

Muñoz-Basols, J., & Manel, L. (2017). *Lingüística hispánica actual: guía didáctica y materiales de apoyo.* Routledge.

NINDS, N. S. (2016). *Parálisis cerebral: Esperanza en la investigación*. Obtenido de https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/paralisiscerebral.htm

Novacheck, T., Trost, J., & Sohrweide, S. (2010). Examination of the child with cerebral palsy. *Orthopedic Clinics of North America, 41*(4), 469-488.

Numan. (1988). *The Learner-Centered Curriculum.*

Nuñez Bedoya, A., & Romo Romero, H. (2019). Análisis de rendimiento de algoritmos de reconocimiento de placas de números de vehículos desarrollado mediante la transformación de ondas discretas y la correlación de imagen digital. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 95-103.

Palsy, O. C. (2019). *Prevalence of Cerebral Palsy*. Obtenido de https://www.cerebralpalsy.org/about-cerebral-palsy/prevalence-and-incidence

Panchanathan, S., Moore, M., Venkateswara, H., Chakraborty, S., & McDaniel, T. (2018). Computer Vision for Augmentative and Alternative Communication. *Cambridge: Academic Press*, 211-248.

Panwar, H., Gupta, P. K., Mohammad, K. S., Morales-Menendez, R., & Vaishnavi, S. (2020). Application of deep learning for fast detection of COVID-19 in X-Rays using nCOVnet. *Chaos, Solitons & Fractals*, 109944.

Pennington, L. (2008). Cerebral palsy and communication. *Paediatrics and Child Health, 18*(9), 405-409.

Pilleux. (2001). *Competencia comunicativa y análisis del discurso. Estudios.*

Portugal, I., Alencar, P., & Cowan, D. (2018). The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review. *Expert Systems With Applications, 97*, 205-227.

Poyatos, F. (1994). *La comunicación no verbal I: Cultura, lenguaje y conversación.* Madrid: Itsmo.

Prieto García, Á. (1999). *Niños y niñas con parálisis cerebral: descripción, acción educativa e inserción social* (Vol. 146). Narcea Ediciones.

Pulido. (2004). *Hacia un concepto de competencia comunicativa integral: Un novedoso acercamiento a sus dimensiones.*

Ramírez, F. O., & Castaño, H. F. (2007). Las redes neuronales y la evaluación del riesgo de crédito. *Ingeniera universidad Medellin*.

Ranschaert, E. R. (2019). *Artificial Intelligence in Medical Imaging: Opportunities, Applications and Risks.* Springer.

Redmon, J. D. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 779-788.

Reyes, D. (2014). El lenguaje en los niños con parálisis cerebral. *Educación, 20*(20), 90-98.

Rich, E. K. (1994). *Inteligencia artificial.* McGraw-Hill.

Riofrio, R., & Carolina, D. (2015). Habilitación del habla y lenguaje a través del método Bobath en los niños con parálisis cerebral que asisten al centro de rehabilitación e hipoterapia “Angelitos de Luz” de la ciudad de Loja año 2013.

Robaina, G. R., & Riesgo, S. d. (2007). *Evaluación diagnóstica del niño con parálisis cerebral. Revista Cubana de Pediatría.*

Román, A. (2017). Los GIF como recurso para la comunicación alternativa y aumentativa. Diseño de un SAAC.

Sanchez Sanchez, P. A., García González, J. R., & Rúa Ascar, J. M. (2020). Automatic migraine classification using artificial neural networks. *F1000 Research*.

Sanclemente, M. P. (1982). Logopedia y parálisis cerebral infantil. *Logop. Fonoaud.*, 211-220.

Savignon, S. (2018). *"Communicative competence." The TESOL encyclopedia of English language teaching.*

Seijo Fernández, R. (2017). LA COMUNICACIÓN NO VERBAL EN LA INTERPRETACIÓN: LA RELEVANCIA DEL PARALENGUAJE Y LA KINÉSICA EN EL PROCESO INTERPRETATIVO. *Revista Iberoamericana de Linguistica*.

Serrano, M. (2007). *Teoría de la comunicación.*

Silva-Corvalán, C., & Enrique-Arias, A. (2017). *Sociolingüística y pragmática del español: segunda edición.* Georgetown University Press.

Simonyan, K. &. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv*, 1409.1556.

Szegedy, C. L. (2015). Going deeper with convolutions. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 1-9.

University of central florida. (21 de 01 de 2021). Obtenido de https://www.crcv.ucf.edu/data/UCF101.php

Von Bertalanffy, L., & Sutherland, J. (1974). General systems theory: Foundations, developments, applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 592-592.

Vygotski, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje.* Barcelona: Paidós.

Zapata, L., & Mesa, S. (2010). La alimentación del niño con parálisis cerebral un reto para el nutricionista dietista. Perspectivas desde una revisión. *instname: Universidad de Antioquia, 12*(1), 77-85.

Zeiler, M. D. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. *Springer*, 818-833.