

Evaluación del dolor postquirúrgico en niños menores de 36 meses mediante
reconocimiento facial y escala FLACC

Estudiantes Especialización en Anestesiología y Reanimación
Santiago Guzmán Martínez
Christiam Andrés Peláez Caro

Sección de Anestesiología
Facultad de Medicina
Universidad de Antioquia
Medellín
Julio de 2019

Evaluación del dolor postquirúrgico en niños menores de 36 meses mediante
reconocimiento facial y escala FLACC

Estudiantes Especialización en Anestesiología y Reanimación
Santiago Guzmán Martínez
Christiam Andrés Peláez Caro

Director de trabajo de grado:
Olga Lucia Giraldo, MD, Anestesióloga, Magíster en Epidemiología Clínica.

Sección de Anestesiología
Facultad de Medicina
Universidad de Antioquia
Medellín
Julio de 2019

Evaluación del dolor postquirúrgico en niños menores de 36 meses mediante reconocimiento facial y escala FLACC.

Christiam Andrés Peláez Caro^a, Santiago Guzmán Martínez^a, Carolina Jiménez Moreno^b, Olga Lucía Giraldo Salazar^c, Jenny Katherine Aristizábal Nieto^d,

^a Médico Residente de Anestesiología y Reanimación, Universidad de Antioquia.

^b Estudiante de Maestría en Bioingeniería, Universidad de Antioquia.

^c Anestesióloga, MsC en Epidemiología. Hospital Universitario San Vicente Fundación. Docente Servicio de Anestesiología, Universidad de Antioquia.

^d Bioingeniera, MsC en evaluación de imágenes. Universidad de Antioquia. Docente de Bioingeniera, Universidad de Antioquia.

Resumen

Objetivo: Evaluar el dolor posquirúrgico en niños menores de 36 meses, mediante el reconocimiento de la expresión facial con algoritmos de inteligencia artificial y su comparación con la escala tradicional pediátrica Face, Legs, Activity, Cry, Consolability (FLACC).

Métodos: Se tomaron videos a color del rostro de niños de 0 a 36 meses de un hospital universitario en el periodo postoperatorio. Se registraron signos vitales y puntuaciones de la escala FLACC, además de un juicio subjetivo por parte del acudiente y enfermera responsable. Con las imágenes obtenidas, se entrenó una red neuronal convolucional modificada para reconocimiento de rostros.

Resultados: Se ingresaron 50 niños en un periodo de 12 meses, con edad promedio de 16,5 meses e intervención más frecuente procedimientos de cirugía general. La incidencia de dolor postoperatorio leve, moderado y grave fue de 24%, 11% y 5% respectivamente, para la población masculina; y de 20%, 14% y 0% para la población femenina. Se aportaron al algoritmo un total de 2730 imágenes a color. El modelo elegido fue la red neuronal convolucional VGG-19 y cuando se comparó con la escala FLACC, obtuvo una baja sensibilidad, pero buena especificidad para clasificar la ausencia de dolor, aceptable sensibilidad y especificidad para la clasificación de dolor leve y muy buena sensibilidad para la clasificación de dolor moderado. No se obtuvo tasas de desempeño para discriminar la intensidad de dolor grave debido a la baja cantidad de niños con este tipo de dolor e incapacidad para entrenar al modelo.

Conclusión: Es posible clasificar el dolor en este grupo de pacientes mediante el análisis de las expresiones faciales utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo. Un mayor número de datos puede mejorar la precisión y abarcar todos los espectros de la intensidad del dolor.

Palabras clave: Escala Face, Legs, Activity, Cry, Consolability (FLACC); dolor pediátrico postoperatorio; expresión facial; inteligencia artificial; aprendizaje profundo; redes neuronales convolucionales.

¿Qué se sabe?

- La escala FLACC es una escala validada en población pediátrica y en entorno postoperatorio.
- La baja especificidad de las escalas de observación conductual, cuestionan la capacidad de diferenciar entre la angustia relacionada y no relacionada con el dolor.

¿Qué aporta este artículo?

- Es posible clasificar el dolor en población menor de 36 meses mediante el análisis de las expresiones faciales utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo.
- El análisis de expresiones faciales junto a procesos de inteligencia artificial, abren un campo en la medicina para la identificación, intervención y pronóstico de patologías en esta población.

Introducción

El dolor es más que una transmisión fisiológica de la entrada nociceptiva desde un sitio de lesión periférica y su modulación dentro del sistema nervioso central. Es una experiencia compleja que se integra y se le da gran valor en los centros cerebrales superiores y conscientes. No hay dos niños que lo experimenten de la misma manera, y a medida que las capacidades cognitivas y motoras se desarrollan de manera incremental en los primeros 2 años de vida de un niño sano, la integración de transmisiones neuronales les otorga un valor personal y subjetivo basado en la edad, la cultura, los genes, la experiencia previa, la educación, el estado mental y de desarrollo.¹⁻⁵

Con la madurez se adquiere la capacidad de responder y habituarse a los estímulos sensoriales. La naturaleza subjetiva del dolor limita su evaluación al depender de la percepción y expresión del paciente; pero cuando no es posible lograr este reporte, por ejemplo, en población menor de 3 años se debe hacer uso de herramientas que valoren parámetros fisiológicos, bioquímicos, conductuales y psicológicos.⁶⁻⁸

No existe una única escala para evaluar el dolor en la población pediátrica.⁹⁻¹² La escala Face, Legs, Activity, Cry, Consolability FLACC (figura 1) es una escala de dolor observacional conductual ampliamente utilizada para los niños que no pueden comunicar su dolor.^{13,14} Esta escala fue diseñada originalmente para medir el dolor postoperatorio en bebés y niños entre dos meses y siete años.¹⁵ Tiene una sensibilidad y especificidad de 94,9% y 73,5%, respectivamente, y aunque es confiable para la evaluación del dolor posoperatorio, las circunstancias de los procedimientos interfirieron con la aplicación de la escala y su especificidad cuestiona la capacidad de diferenciar entre la angustia relacionada con el dolor y la no relacionada con el dolor.¹⁶ La evidencia es fuerte al reconocer la expresión facial del niño como indicador confiable en diferentes ámbitos hospitalarios.^{10,17}

Figura 1. Escala para evaluación de intensidad del dolor en niños de 1 mes a 3 años. Face, Legs, Activity, Cry, Consolability (FLACC).

Categoría	Puntaje 0	Puntaje 1	Puntaje 2
Expresión facial (Face)	Ninguna expresión especial o sonrisa	Ocasionalmente muecas o ceño fruncido; retraído, desinteresado	Frecuente o constante temblor del mentón. Mandíbula encajada
Piernas (Legs)	Posición normal, relajadas	Inquietas, rígidas, tensas	Pataleo o piernas alzadas
Actividad (Activity)	Tranquilo, posición normal, movimiento fácil	Retorcido, giros de acá para allá, tenso	Arqueado, rígido con sacudidas
Llanto (Cry)	No llora (despierto o dormido)	Gemido o lloriqueo quejido ocasional	Llanto continuo
Consuelo (Consolability)	Contento, relajado (dormido o despierto)	Tranquilo por caricias o abrazos ocasionales, o al hablarle para distraerlo	Dificultad para controlarlo o confortarlo

Puntuación:
1-3: leve
4-6: moderado
7-10: severo

Gracias a la tecnología, existen cada vez más técnicas para el análisis de expresiones faciales que se desarrollan y se mejoran con el tiempo. La detección del contorno del rostro y de características faciales mediante video es una tarea importante en sistemas de análisis y procesamiento automático de rostros.¹⁸

La inteligencia artificial comprende algoritmos computacionales programados para imitar el comportamiento humano. Específicamente, el “aprendizaje de máquina” es la rama que relaciona la capacidad que tiene una máquina de aprender y automatizar tareas mejorando procesos de clasificación y regresión. Los algoritmos de aprendizaje de máquina “aprenden” directamente de los datos y mejoran su rendimiento a medida que el conjunto de estos datos es cada vez mayor y son representativos del problema que se quiere imitar.¹⁹⁻²¹

El objetivo de este estudio fue clasificar el dolor mediante técnicas de procesamiento de imágenes e inteligencia artificial a partir de videos a color de rostros de pacientes menores a 36 meses, y evaluar el desempeño del modelo con las categorías obtenidas del instrumento de medición FLACC.

Métodos

Consideraciones éticas

El estudio fue registrado y aprobado por los Comités de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, de la Dirección de Investigaciones y el Comité de Ética del Hospital Universitario San Vicente Fundación (Acta N° 10-2019). Todos los padres y responsables de los menores incluidos en el estudio firmaron el consentimiento informado para la participación y registro de las imágenes.

Diseño

Estudio prospectivo descriptivo de una cohorte de 50 niños menores a 36 meses de edad. En el periodo posoperatorio inmediato, se tomaron videos a color del rostro de niños intervenidos en el Hospital Universitario San Vicente Fundación de Medellín (HUSVF) en un periodo de 12 meses. Se excluyeron a los menores de 36 meses con diagnósticos de enfermedad neurológica, dimorfismos faciales, cirugías con técnica analgésica regional, procedimientos neuroquirúrgicos y procedimientos gastrointestinales menores, cirugías de otorrinolaringología, pacientes con vendajes en el rostro, intubados, en incubadora o que contaran con algún elemento que obstaculizara la captura de imágenes del rostro.

En la sala de recuperación, se registró signos vitales del niño (presión arterial, frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno), se aplicó la escala FLACC (cambios en la expresión facial, movimiento de las piernas, actividad corporal, llanto, susceptibilidad de consolar) además del registro del juicio subjetivo del responsable del paciente y la enfermera a cargo de recuperación, cada 10 minutos hasta completar 4 mediciones (minuto cero, minuto 10, minuto 20 y minuto 30). Paralelamente, se adquirieron videos del rostro del paciente utilizando una cámara digital a color (figura 2). Cada video tuvo una duración de 10 segundos para garantizar una tasa de fotograma cada 0.25 segundos. Todo lo anterior con el fin de garantizar la repetitividad de las imágenes. Cada registro se le comunicaba al anestesiólogo encargado, y se administró analgesia intravenosa de requerirse, especialmente en puntuaciones de dolor moderado a grave.

Se ingresaron los datos a una base de datos realizada en Excel® y posteriormente se transportó al paquete estadístico IBM SPSS® versión 22, para el procesamiento y análisis de datos. La adquisición, almacenamiento, manipulación, disposición y acceso del material videográfico estuvo a cargo del personal de investigación adscrito al proyecto. Dicho material fue guardado con un número único de identificación.

Figura 2. Ejemplo de las expresiones del paciente con ID 005 de la base de datos.



Desenlace

El desenlace principal fue la clasificación del dolor mediante técnicas de procesamiento de imágenes e inteligencia artificial a partir de videos a color de los rostros de los pacientes, y la comparación del desempeño del modelo con las categorías obtenidas del instrumento de medición FLACC.

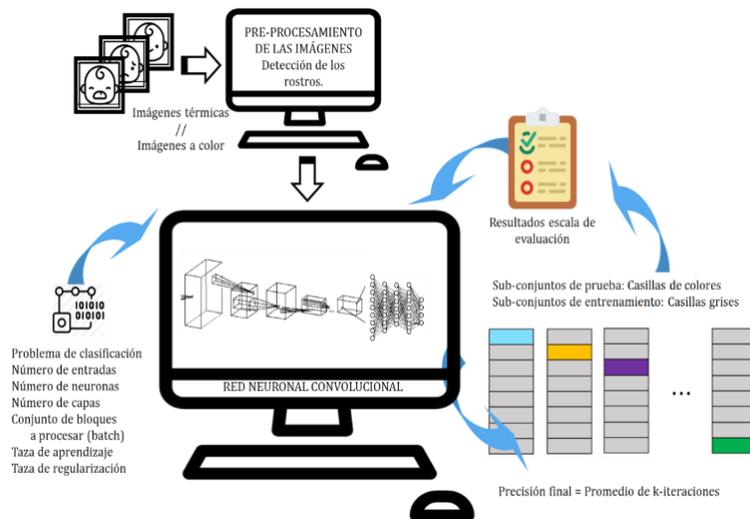
Análisis estadístico

Los datos se presentan como frecuencias y proporciones para las variables cualitativas y medias con desviaciones estándar (DE) o medianas y rangos intercuartílicos (IQR) para las variables cuantitativas. Las puntuaciones de dolor en el postoperatorio se compararon

según el género, clasificación ASA y tipo de cirugía. La capacidad de la FLACC para detectar cambios clínicos se evaluó utilizando puntuaciones de dolor obtenidas antes y después de requerirse analgesia de rescate.

El desarrollo de los modelos de clasificación estuvo a cargo del grupo de investigación en bioinstrumentación e ingeniería clínica de la Universidad de Antioquia (GIBIC). Los pasos seguidos para diseñar el modelo se resumen en la figura 3. Para el entrenamiento de estos modelos, la muestra de la población se fraccionó en tres conjuntos de imágenes; en cada uno de ellos se organizaron las carpetas correspondientes a las categorías de dolor obtenidos con la escala FLACC (11 resultados para 4 categorías). Un grupo al proceso de entrenamiento (70% de la muestra) y los otros al proceso de testeo (conjunto de validación 20% y conjunto de prueba 10%). En la etapa de clasificación, se utilizaron las redes neuronales convolucionales pre-entrenadas modificadas para la detección de rostros: AlexNet, VGG-19, VGG-16 y VGG-Face, para la clasificación de los niveles de dolor del conjunto de datos. Una vez entrenado el clasificador y con el fin de evaluar su rendimiento, se procedió a efectuar una etapa de prueba, la cual emplea las características obtenidas en el entrenamiento. Después de la recopilación de datos de validación, se seleccionó el mejor clasificador (mayor precisión y menor función de pérdida) y se calculó la matriz de confusión con las clases predichas de la etapa de prueba, para evaluar su desempeño (precisión, exactitud, sensibilidad y especificidad) cuando se compara con los resultados obtenidos por categorías de la escala FLACC.

Figura 3. Esquema modelo diseñado



Resultados

Desde febrero de 2019 hasta febrero de 2020 se inscribieron 50 pacientes (39 niños y 11 niñas). Las características de la población se resumen en la tabla 1. La edad promedio en el grupo de los niños fue de 17.1 meses y en las niñas de 15.9 meses. Aproximadamente la mitad de la población tuvo una clasificación ASA 2 (54% para hombres y 46% para

mujeres). Cirugía pediátrica fue la especialidad quirúrgica con mayor número de procedimientos, con un 59% en hombres (cirugía más frecuente circuncisión) y 46% en mujeres (cirugía más frecuente herniorrafía).

Tabla 1. Características demográficas y clínicas

Variable	Masculino (n=39)	Femenina (n=11)
Edad - meses (mediana, IQR)	17,10 (3-15)	15,90 (1-34)
Peso - kg (mediana, IQR)	9,87 (4,5-17)	9,43 (3,9-14,5)
Tipo de cirugía (%)		
General	23 (59)	5 (46)
Urológica	6 (15)	1 (9)
Ortopédica	2 (5)	4 (36)
Plástica	7 (18)	1 (9)
Otros	1 (3)	0 (0)
Duración cirugía en minutos (mediana, IQR)		
	131,12 (40-450)	150,90 (20-420)
ASA (%)		
I	16 (41)	4 (36)
II	21 (54)	5 (46)
III	2 (5)	2 (18)

Los registros de la escala FLACC se resumen en la tabla 2, para un total de 200 registros, 4 por cada participante del estudio. La incidencia de dolor postoperatorio para la población masculina fue de 24% para dolor leve, 11% para dolor moderado y 5% para dolor grave; para la población femenina fue de 20% para dolor leve, 14% para dolor moderado y 0% para dolor grave. El 5,8% del total de la muestra requirió analgesia de rescate, todos en la población masculina (66,6% con dolor grave) con una relación directa entre puntuaciones FLACC 7 a 10 y un aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca de 2 DE. Se reporto presencia de dolor por parte del acudiente o enfermera mediante juicio subjetivo en 62 registros. Hubo concordancia entre la ausencia de dolor y el juicio subjetivo de la enfermera (100%), así como calificación positiva por parte del acudiente y enfermera en los registros de dolor grave (7 de 8 registros). En un caso, donde el niño obtuvo una puntuación FLACC de 8, la madre y la enfermera acordaron que la expresión facial no correspondía a dolor, por lo que no recibió analgesia, con puntuaciones FLACC posteriores que comprobaron la ausencia de dolor. Se evidenció una relación directa entre la aplicación de analgesia de rescate con disminución de la puntuación FLACC, normalización de signos vitales y ausencia de dolor como juicio subjetivo por parte del acudiente y enfermera a cargo.

Tabla 2. Resultados registros escala FLACC, parámetros fisiológicos y evaluación subjetiva del dolor.

Variable	Masculino (n=39)	Femenina (n=11)
Escala FLACC (%)		
Sin dolor -puntaje 0-	93 (60)	29 (66)
Dolor leve -puntaje 1 a 3-	37 (24)	9 (20)
Dolor moderado -puntaje 4 a 6-	18 (11)	6 (14)
Dolor grave -puntaje 7 a 10-	8 (5)	0 (0)
Total registros	156	44
Analgesia de rescate		
Dolor moderado	3	0
Dolor grave	6	0
Total analgesias	9	0
Parámetros fisiológicos		
PAS (mediana, IQR)	98,55 (61-143)	90,72 (77-106)
PAD (mediana, IQR)	58,92 (30-94)	51,72 (35-77)
FC (mediana, IQR)	127,89 (78-182)	124,18 (80-169)
SO2 (mediana, IQR)	0,96 (0,78-1,0)	0,96 (0,84-1,0)

Se obtuvo un total de 2.730 rostros efectivos detectados en las imágenes a color por el total de la muestra (se perdió el 28% de imágenes a color por fallas en la técnica de detección, lateralización del rostro, detección de más de un rostro o problemas de iluminación).

Se analizó la precisión y la tasa de pérdida de cada una de las redes neuronales convolucionales pre-entrenadas modificadas (VGG-face; VGG-19, VGG-16 y Alexnet), obteniéndose la tasa de clasificación más alta con precisión del 92,9% de la red neuronal convolucional VGG-19. Con el mejor clasificador se estableció la matriz de confusión con las clases predichas para poder evaluar el desempeño del modelo con respecto a la clasificación FLACC (figura 4).

Las clases predichas elegidas se basaron en el conjunto de datos con mayor registro, por lo que puntuaciones de dolor sin registro o muy bajo registro se excluyeron ante la alta variabilidad que el modelo necesita para relacionar las características suficientes que hacen que la expresión facial corresponda a esos niveles de dolor. Para las imágenes a color las clases predichas del modelo fueron ausencia de dolor (puntuación 0), dolor leve (puntuación de 1,2 y 3) y dolor moderado (puntuación 4 y 5).

Figura 4. Matriz de confusión resultante del entrenamiento y validación del modelo.

		Matriz de confusión Imágenes a Color		
FLACC	Sin dolor (0)	105	33	4
	Dolor leve (1 a 3)	26	406	13
	Dolor moderado (4 a 5)	56	13	157
		Sin dolor (0)	Dolor leve (1 a 3)	Dolor moderado (4 a 5)
		Clases predichas		

La matriz de confusión a partir de imágenes a color arrojó que el modelo clasificador tiene una baja sensibilidad, pero alta especificidad para clasificar la ausencia de dolor cuando se compara con la escala FLACC, 56,1% y 94,1%, respectivamente. La mayor precisión y exactitud la obtuvo para la clasificación de dolor leve (puntajes de 1 a 3) con valores de 91,2% y 89,5%. La mayor sensibilidad fue para la clasificación de dolor moderado (puntajes 4 y 5) con un resultado de 90,2%. No se pudo obtener el desempeño del modelo en puntajes de dolor 6 (también moderado) o cualquier puntaje de la categoría dolor grave (7,8,9 y 10), debido a la baja cantidad de registros, lo que limitó el entrenamiento del modelo y por ende su incapacidad para discriminar el dolor grave. En la tabla 3, se muestra el desempeño del modelo con las clases predichas en comparación con las puntuaciones FLACC.

Tabla 3. Resultados de desempeño del modelo clasificador con imágenes a color

	Precisión	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad	TFP †
Sin dolor	0,739	0,854	0,561	0,941	0,059
Dolor leve	0,912	0,895	0,898	0,891	0,108
Dolor moderado	0,894	0,694	0,902	0,892	0,107

† Tasa de falsos positivos

Discusión

En este estudio evaluamos una nueva técnica de clasificación del dolor mediante reconocimiento facial con redes neuronales convolucionales, así como la incidencia y clasificación de dolor posoperatorio en niños menores de 36 meses en una única institución de tercer nivel de salud, mediante la escala de medición FLACC. Contrario a reportes de prevalencias tan altas como el 32% en la población adulta para el dolor postoperatorio,⁵ nuestros resultados evidencian bajas tasas de dolor postoperatorio cuando se estratifica la intensidad en leve, moderado y grave con escalas validadas para este grupo, con una incidencia para el género masculino de 24%, 11% y 5% y para el género femenino de 20%, 14% y 0%, respectivamente. Pudiese existir diferencias en los umbrales de dolor debido a la respuesta variable de patrones conductuales, fisiológicos y autónomos no específicos pero

consistentes en dolor.⁶ No encontramos una asociación directa entre el estado clínico del paciente y su riesgo perioperatorio, tipo de cirugía o tiempo quirúrgico.

La baja incidencia de dolor moderado a grave permitió reducir las tasas de analgesia de rescate hasta un 5,8% del total de la muestra, específicamente en puntuaciones FLACC igual o mayores a 7, lo que da a entender el aumento creciente de modelos de analgesia multimodal para control de dolor postoperatorio por parte del personal de anestesiología. Se evidenció una relación directa entre la aplicación de analgesia de rescate con disminución de la puntuación FLACC, normalización de signos vitales y ausencia de dolor como juicio subjetivo por parte del acudiente y de la enfermera de cuidados posanestésicos pediátricos. Se ha demostrado que hasta el 74% de los profesionales de la salud y el 86% de profesionales no sanitarios pueden relacionar correctamente la presencia de dolor mediante expresiones faciales.²² Observamos una concordancia entre las puntuaciones de dolor grave y el juicio subjetivo por parte de los padres y enfermeras a cargo de recuperación. El personal de salud entrenado en cuidados posanestésicos pediátricos tiene muy buena sensibilidad para identificar la ausencia del dolor mediante expresiones faciales, además de discriminar puntuaciones altas de FLACC con la ausencia de dolor verdadero, probablemente explicado por factores externos como el ayuno prolongado, ausencia de los padres, ambientes desconocidos, personal extraño, entre otros. La expresión facial del dolor representa una herramienta efectiva de comunicación entre el niño y la madre y el personal de la salud, con una buena sensibilidad en los casos de dolor grave.

El propósito inicial era clasificar las imágenes dentro de los 11 resultados que se obtienen de la escala FLACC, sin embargo, debido a la alta pérdida de imágenes por fallas en la técnica de detección y la ausencia o el bajo registro en categorías con puntuaciones mayores a 5, estas no fueron reclutadas en el conjunto de datos experimentales, lo que imposibilitó entrenar al modelo con todas las puntuaciones de dolor. Solo pudimos entrenar el modelo con imágenes para las categorías de ausencia de dolor (puntaje 0), dolor leve (puntaje 1 a 3) y dolor moderado (puntaje 4 y 5). El desempeño del modelo demostró muy buena sensibilidad, pero baja especificidad para clasificar la ausencia de dolor 94,1% y 56,1%, respectivamente, y una sensibilidad y especificidad cercanas al 90% para clasificar el dolor en leve y moderado excluyendo la puntuación 6, cuando se compara con la escala FLACC. No se pudo entrenar el modelo para puntajes FLACC mayores a 5, por lo que, con los datos actuales, no es posible definir el poder para discriminar dolor grave.

Los resultados son esperanzadores y sugieren que puede ser posible clasificar el dolor en los niños menores de 36 meses mediante el análisis de las expresiones faciales utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo. Dichos experimentos demuestran que cuando el conjunto de datos es pequeño y la pérdida es muy alta para la tarea específica, es difícil lograr resultados precisos y completos. Esto hace necesario contar con una base de datos mucho más amplia.

Conclusión

Es posible clasificar el dolor en niños menores de 36 meses mediante el análisis de las expresiones faciales utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo. Hubo una buena correlación de estos modelos y las puntuaciones de escalas validadas para este entorno. Dichos experimentos invitan a incrementar el conjunto de datos específicamente para dolor moderado y grave, y de esta forma entrenar mejor estos modelos para aumentar la precisión y abarcar todos los espectros de la intensidad del dolor. Además, se abre todo un campo de investigación fascinante en el estudio de la expresión facial de los niños que aún no se pueden comunicar, de manera que expresiones como el llanto y sus diferentes causas puedan estudiarse mediante las redes neuronales convolucionales y así se podrían identificar niños con enfermedades que requieran pronta atención quirúrgica.

- *Realizar de nuevo el entrenamiento de los modelos con bases de datos más amplias y categorías como el llanto.*
- *Evaluar el modelo en entornos hospitalarios como urgencias, hospitalización o consulta externa pediátrica.*
- *Incluir variables fisiológicas y el juicio subjetivo del personal de la salud y acudientes como datos adicionales en los modelos multivariados.*

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los anestesiólogos, residentes y personal de enfermería que trabajan en las salas de cirugía pediátrica del Hospital Universitario San Vicente Fundación-por su invaluable ayuda en la recolección de datos.

Declaración de conflictos de interés

Ninguno.

Bibliografía

1. Institute of Medicine (US) Committee on Advancing Pain Research, Care, and Education. (2011). *Relieving Pain in America: A Blueprint for Transforming Prevention, Care, Education, and Research*. National Academies Press (US). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK91497/>
2. *IASP Terminology—IASP*. (s. f.). Recuperado 28 de marzo de 2021, de [https://www.iasp-pain.org/terminology?navItemNumber=576.%20\[Accessed:%2026-Mar-2018\]](https://www.iasp-pain.org/terminology?navItemNumber=576.%20[Accessed:%2026-Mar-2018]).
3. Gold, J. I., Townsend, J., Jury, D. L., Kant, A. J., Gallardo, C. C., & Joseph, M. H. (2006). Current trends in pediatric pain management: From preoperative to the postoperative bedside and beyond. *Seminars in Anesthesia, Perioperative Medicine and Pain*, 25(3), 159-171. <https://doi.org/10.1053/j.sane.2006.05.014>
4. Huguet, A., & Miró, J. (2008). The severity of chronic pediatric pain: An epidemiological study. *The Journal of Pain*, 9(3), 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2007.10.015>
5. Puentes, A. M. C., Villa, J. M. M., Úsuga, N. D. G., & Valencia, M. I. B. (2009). Prevalencia de dolor agudo posoperatorio y calidad de la recuperación en el Hospital Universitario San Vicente de Paúl, Medellín, Colombia, 2007. *Iatreia*, 22(1): 11-15.
6. *Assessment and Management of Pain (Third Edition)*. (s. f.). Recuperado 28 de marzo de 2021, de <https://rnao.ca/bpg/guidelines/assessment-and-management-pain>
7. Mathew, P., & Mathew, J. (2003). Assessment and management of pain in infants. *Postgraduate Medical Journal*, 79(934), 438-443. <https://doi.org/10.1136/pmj.79.934.438>
8. M. Clarett, Escalas de evaluación de dolor y protocolo de analgesia en terapia intensiva, Clínica y Maternidad Suizo Argentina Instituto Argentino de Diagnóstico y Tratamiento, Buenos Aires, Argentina, 2012.
9. Bai, J., & Jiang, N. (2015). Where Are We: A Systematic Evaluation of the Psychometric Properties of Pain Assessment Scales for Use in Chinese Children. *Pain Management Nursing: Official Journal of the American Society of Pain Management Nurses*, 16(4), 617-631. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2014.11.003>

10. Good Practice in Postoperative and Procedural Pain Management, 2nd Edition. (2012). *Pediatric Anesthesia*, 22(s1), 1-79. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2012.03838.x>
11. Srouji, R., Ratnapalan, S., & Schneeweiss, S. (2010). Pain in Children: Assessment and Nonpharmacological Management. *International Journal of Pediatrics*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/474838>
12. Duhn, L. J., & Medves, J. M. (2004). A systematic integrative review of infant pain assessment tools. *Advances in Neonatal Care: Official Journal of the National Association of Neonatal Nurses*, 4(3), 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.adnc.2004.04.005>
13. Andersen, R. D., Langius-Eklöf, A., Nakstad, B., Bernklev, T., & Jylli, L. (2017). The measurement properties of pediatric observational pain scales: A systematic review of reviews. *International Journal of Nursing Studies*, 73, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.05.010>
14. Crellin, D. J., Harrison, D., Santamaria, N., & Babl, F. E. (2015). Systematic review of the Face, Legs, Activity, Cry and Consolability scale for assessing pain in infants and children: Is it reliable, valid, and feasible for use? *Pain*, 156(11), 2132-2151. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000305>
15. Merkel, S. I., Voepel-Lewis, T., Shayevitz, J. R., & Malviya, S. (1997). The FLACC: A behavioral scale for scoring postoperative pain in young children. *Pediatric Nursing*, 23(3), 293-297.
16. Crellin, D. J., Harrison, D., Santamaria, N., Huque, H., & Babl, F. E. (2018). The Psychometric Properties of the FLACC Scale Used to Assess Procedural Pain. *The Journal of Pain*, 19(8), 862-872. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2018.02.013>
17. Vidal, M. A., Calderón, E., Martínez, E., González, A., & Torres, L. M. (2005). Dolor en neonatos. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 12(2), 98-111.
18. Chen, C. H. (2015). *Handbook Of Pattern Recognition And Computer Vision (5th Edition)*. World Scientific.
19. I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*, MIT., vol. 1. Massachusetts: MIT press Cambridge, 2016. https://www.deeplearningbook.org/front_matter.pdf
20. Thampi, S. M., Krishnan, S., Corchado, J. M., Das, S., Wozniak, M., & Al-Jumeily, D. (Eds.). (2018). *Advances in Signal Processing and Intelligent Recognition Systems: Proceedings of Third International Symposium on Signal Processing and*

Intelligent Recognition Systems (SIRS-2017), September 13-16, 2017, Manipal, India. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67934-1>

21. *Machine Learning: Tres cosas que es necesario saber—MATLAB & Simulink*. (s. f.). Recuperado 28 de marzo de 2021, de <https://la.mathworks.com/discovery/machine-learning.html>
22. Xavier Balda, R. d, Guinsburg, R., de Almeida, M. F., Peres, C. d, Miyoshi, M. H., & Kopelman, B. I. (2000). The recognition of facial expression of pain in full-term newborns by parents and health professionals. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 154(10), 1009-1016. <https://doi.org/10.1001/archpedi.154.10.1009>