

AVANCES EN EL DESARROLLO DE SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PATOLOGÍA DE ESPINA BÍFIDA

Yudith S. Ontiveros², Nelson Dugarte¹, Juan C. Perozo², Antonio
Alvarez¹, Negman Alvarado¹

¹Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería
(CeReCoN), Facultad Regional Mendoza (FRM) de la Universidad Tecnológica Nacional
(UTN), Mendoza, Argentina. / ndj0227@gmail.com

²Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" UNEFM. Decanato del área
de postgrado. Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud. Coro, Venezuela. /
cidibicol@gmail.com

Resumen: La patología de espina bífida es una malformación ósea que se produce en la columna vertebral a causa de la falta de soldadura entre los arcos posteriores de una o más vértebras y que ocasiona la exposición de la médula espinal. Este tipo de patología normalmente se produce durante la gestación y se interpreta como un defecto congénito que puede ser estructural o funcional. Puede ser originada por genética, por un ataque infeccioso, daño ambiental o por mala nutrición durante el embarazo, aunque en muchas ocasiones no es posible identificar su causa. Como resultado de esta anomalía congénita, por debajo de la zona donde se encuentra la malformación aparece la pérdida o disfunción de funciones neurológicas. Al afectarse los nervios sensitivos, el niño tendrá una pérdida de sensibilidad al dolor, al calor, al frío entre otras secuelas. En el caso de que ocurra un daño en los nervios motores se presenta debilidad muscular, la cual podrá ser leve o llegar a la parálisis completa, dependiendo de la altura, en dónde esté localizada la lesión y la cantidad de nervio dañado o involucrado. Se estima que la espina bífida afecta a 1 de cada 1.300 recién nacidos, siendo más recurrente en los países del tercer mundo. Las últimas estadísticas de mortalidad emitidas a nivel regional e internacional, señalan que desde 1999 las Anomalías Congénitas ocupan el segundo lugar en las causas de mortalidad para la población infantil menor a un año. Siendo además en neonatos de 28 días o menos, el 14% de la causa de mortalidad diagnosticada. El objetivo de esta investigación es analizar las técnicas médicas que se utilizan en el tratamiento de esta patología con el propósito de optimizar una metodología con la implementación de inteligencia artificial. Para esto, se desarrolla una plataforma que se estructura como historia médica electrónica, donde se incorporan todas las herramientas de tratamiento y se realiza el seguimiento minucioso de la evolución patológica del paciente.

Palabras claves: Patología de espina bífida – Optimización de tratamiento – Técnicas con Inteligencia artificial – Historia médica electrónica.

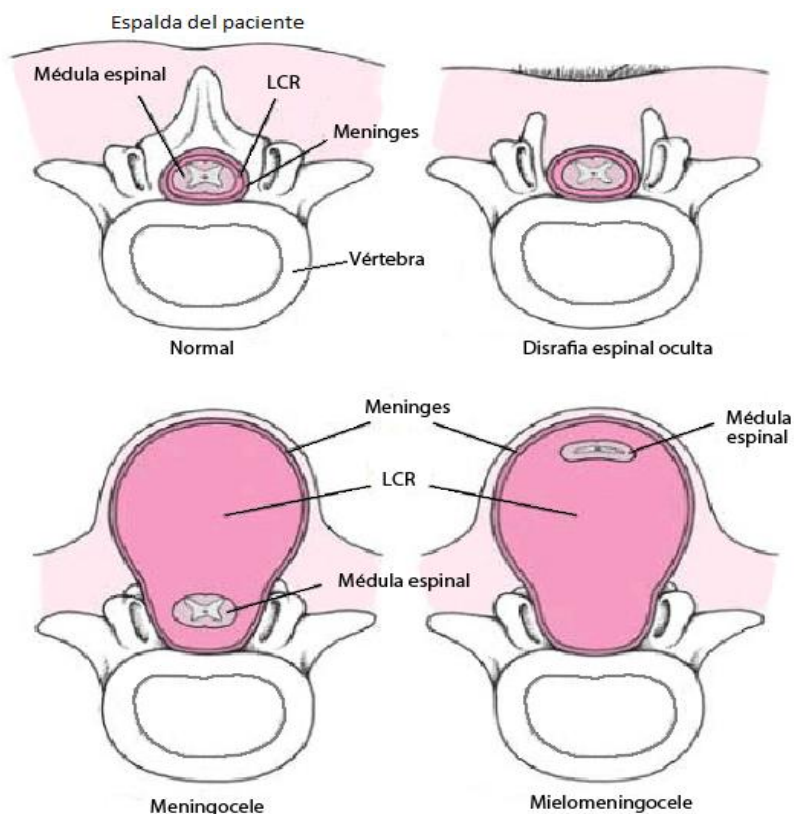
INTRODUCCIÓN

A nivel mundial un 5% de todos los nacidos vivos presentan algún tipo de anomalía o malformación congénita, de las cuales, las patologías asociadas a los Defectos del Tubo Neural (DTN) son las más frecuentes, constituyendo una importante causa de morbilidad infantil. Anualmente alrededor de 8 millones de recién nacidos en el mundo nacen con un defecto congénito grave, y cerca de 3 millones mueren antes de cumplir 5 años (Pan American Health Organization, 2023; Au et al, 2013). La espina bífida (EB) corresponde a la malformación congénita más común del DTN, donde la médula y las vértebras no se forman por completo y el tubo neural no se cierra completamente. Entre las causas de discapacidad infantil, es la segunda después de la parálisis cerebral (Copp & Green, 2013).

De acuerdo a estudios médicos y científicos, la EB se clasifica en espina bífida oculta (EBO) y espina bífida abierta (EBA). Como características predominantes en la EBO, se encuentran defectos en los componentes vertebrales, mechones de pelo en la piel, no presenta protrusión y pueden no detectarse al nacimiento. A diferencia la EBA comprende el meningocele, la mielomeningocele (caso más grave) y la lipomeningocele, caracterizadas por un saco o quiste cubierto por una fina capa de piel (Meuli & Moehrlen, 2014). La Figura 1, muestra en corte transversal del paciente una descripción gráfica de los tipos más comunes de esta patología.

Figura 1

Descripción gráfica de los tipos comunes de espina bífida.



En el caso del meningocele, el quiste contiene tejidos que cubren la médula espinal o Meninges y el líquido cefalorraquídeo. Los nervios no suelen estar gravemente dañados y pueden funcionar. El quiste no solo contiene tejido y líquido cefalorraquídeo sino también nervios y parte de la médula espinal, la cual puede estar dañada o no se ha desarrollado correctamente, siendo esta la que se encarga de transmitir todos los impulsos nerviosos a nivel motor y sensitivo (Verpoorten & Buyse, 2008).

Como resultado de esta anomalía congénita, por debajo de la zona donde se encuentra la malformación aparece la pérdida o disfunción de funciones neurológicas. Al afectarse los nervios sensitivos, el paciente tendrá una pérdida de sensibilidad al dolor, al calor, al frío entre otras secuelas. En el caso de que ocurra un daño en los nervios motores se presenta debilidad muscular, la cual podrá ser leve o llegar a la parálisis completa, dependiendo de la altura en dónde esté localizada la lesión y la cantidad de nervio dañado (Meuli & Moehslen, 2014).

La EB puede ocurrir en cualquier parte de la columna, sin embargo, es común en la columna lumbosacra, por lo que las deformidades del tobillo son las más comunes donde la afectación parcial de las fibras del nervio peroneo superficial de L4 a S1 causa parálisis del músculo peroneo y contractura del tendón de Aquiles, lo que lleva a la deformidad del pie zambo. La afectación del nervio peroneo profundo afectan algunas fibras del nervio tibial y del nervio tibial que puede causar parálisis de los músculos anterior y posterior de la tibia y el talón (Jianguo et al., 2016).

Otras secuelas de esta enfermedad congénita son la debilidad en los músculos de la vejiga, generando problemas de incontinencia urinaria y hasta en un 90% de los casos asociada también a incontinencia fecal. Otros efectos asociados a la EB son estreñimiento, enlentecimiento digestivo, disfunción eréctil u otros problemas de la esfera sexual (Barf et al., 2003; Verpoorten & Buyse, 2008).

Un alto porcentaje de casos de EB puede diagnosticarse antes del nacimiento mediante ecografía o presumirse el diagnóstico por altas concentraciones de alfa-fetoproteína en suero materno y líquido amniótico. Es común que se aplique al paciente algún tipo de reparación quirúrgica de la lesión espinal, bien sea cirugía prenatal también conocida como cirugía fetal que se realiza antes de la semana 26 del embarazo, o dentro de las primeras 72 horas después del nacimiento (Adzick et al., 2011; Copp & Green, 2013).

La complejidad de los casos, presenta un alto porcentaje de pacientes que no pueden ser curados totalmente con Neurocirugía. Actualmente existe una amplia variedad de técnicas que se aplican en el tratamiento y asistencia del paciente con este tipo de patología. Entre otras dependencias, se involucran la medicina física, el trabajo prolongado de rehabilitación y fisioterapia, la neurología, la asistencia de urología, la aplicación de ortopedia, consultas de terapia ocupacional, la educación especial, y el control estricto de la nutrición (Blount et al., 2020).

Dada la gran variedad de tratamientos posibles y la elevada sensibilidad de las lesiones a errores en el diagnóstico, se propone el desarrollo de un sistema que permita identificar con mayor precisión los detalles de la lesión y asociarlos a los pormenores patológicos del paciente. Todo esto diseñado con el propósito de enfocar el mejor tratamiento posible a cada tipo particular de lesión en el paciente.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este sistema tiene como objetivo combinar las habilidades de diseño y resolución de problemas en el diagnóstico y tratamiento de la patología de EB mediante procesamiento con inteligencia artificial.

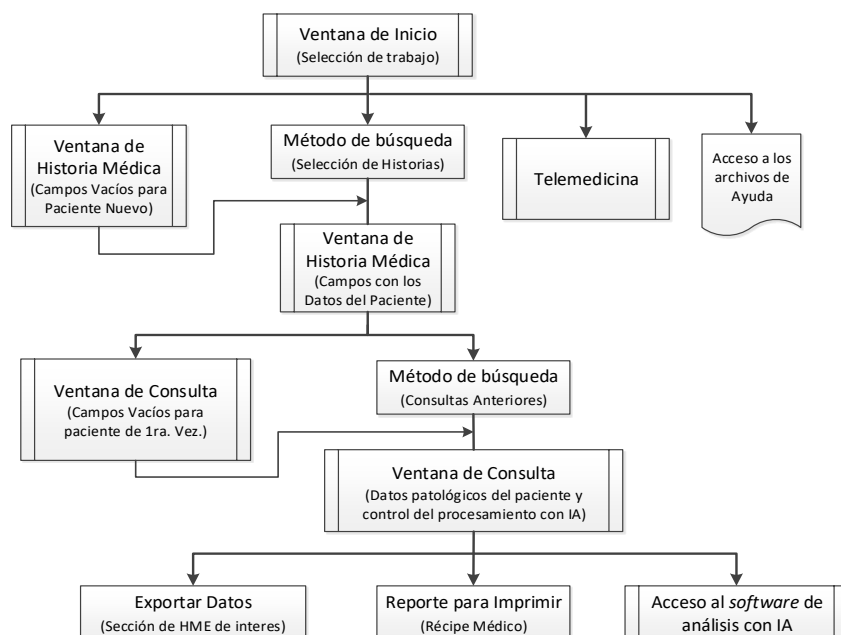
A través de la Ingeniería Biomédica se ha logrado presentar alternativas tecnológicas que han logrado disminuir el índice de morbilidad en los últimos años. Son muchas las aplicaciones manifestadas en productos y técnicas para el tratamiento de estas enfermedades, por ejemplo, la foto-biomodulación [Photo Bio Modulation (PBM)] que utiliza un láser como medio terapéutico para el tratamiento de lesiones de médula espinal (Ramezani, 2020), el diseño de sistemas biomecánicos como las plantillas ortopédicas para la malformación congénita de ambos pies (órtesis de tobillo-pie), el desarrollo sistema de análisis de movimiento, los tratamientos de fisioterapia aplicada al lumbosacro (mielomeningocele), etc.

La electroestimulación en la zona adyacente a la lesión y en los grupos musculares afectados por la EB, es una técnica novedosa que se ha propuesto como parte en este desarrollo. La idea central radica en el empleo de Inteligencia Artificial (IA), que propone como hipótesis la neuro-modulación de raíces sacras a partir de la neuroplasticidad de las redes nerviosas, así como también el fortalecimiento de los grupos musculares deteriorados. El resultado esperado se enfoca en mejorar funciones motoras de tronco y piernas (Fiorente, Mojdehdehbaher & Calabrò, 2024; Karamian et al., 2022).

Actualmente, se trabaja en el desarrollo de un sistema de historia clínica digital, también conocidos como Historia Médica Electrónica (HME) que además sirva como plataforma forma de control de todo el sistema. La Figura 2 presenta un esquema general de la secuencia de funcionamiento.

Figura 2

Esquema general de funcionamiento de la HME desarrollada.



El propósito de la HME desarrollada, es manejar el volumen de información de los pacientes. El procesamiento con IA, analiza estadísticamente todos los posibles tratamientos de EB en función de los rasgos característicos de la consulta actual y la trazabilidad de las consultas anteriores, con el propósito de ajustar el tratamiento más eficiente para el paciente (Bajwa et al., 2021; Campanella et al., 2016).

RESULTADOS

El funcionamiento del sistema comienza cuando el operador ejecuta el software de la HME. En primer lugar, se presenta una ventana que solicita la clave de acceso, exigida por norma de seguridad médica. La Figura 3 muestra la ventana de inicio que se presenta posterior al ingreso de la clave de acceso.

Figura 3

Ventana de inicio del sistema.



Los botones en la ventana de inicio permiten el acceso a la historia médica. Si se trata de un paciente nuevo, se presentan los campos vacíos para ingresar los datos generales del paciente. Si es el caso de un paciente que ya tiene un registro anterior, se despliega una lista con un método de búsqueda para acceder a su HME con los datos cargados. En la Figura 4 se presenta la ventana de HME con los datos de un paciente de prueba.

Figura 4

Ventana de historia con los datos de un paciente de prueba.

The screenshot shows a software window titled "Historia". It contains two main sections: "Información General" and "Datos del Paciente".

Información General:

- Lugar: Mérida
- Fecha: 19 / 08 / 2024
- Historia N°: 8
- Médico Tratante: Dr. Bellera
- Referido Desde: Consulta Libre (dropdown menu)

Datos del Paciente:

- Nombre: Anderson Rivas
- Sexo: Masculino (dropdown menu)
- Edo. Civil: Soltero(a) (dropdown menu)
- Cédula N°: 30372992
- Fec_Nac: 17 / 2 / 2004
- Lug_Nac: Mérida
- Dirección: Mérida
- Teléfono: 0274-2667824

Below the patient data, there are two tabs: "Antecedentes Personales" (selected) and "Antecedentes Familiares". The "Antecedentes Personales" tab shows a text area with the entry "Paciente control".

At the bottom of the window, there are four buttons: "Regresar" (with a red arrow icon), "RH" (with a gear icon), "Consulta" (with a blue plus icon), and "Editar Historia" (with a pencil icon).

El botón marcado como "RH" (Registro Histórico), abre un método de búsqueda en el cual el médico puede acceder al registro de una o más consultas médicas realizadas con anterioridad. El botón "Editar Historia" permite complementar la información contenida. El botón "Regresar", cierra la ventana de historia y retorna a la ventana de Inicio.

El botón marcado como "Consulta" accede a la ventana donde el médico puede anotar todos los datos y procedimientos del tratamiento que se aplica al paciente en la consulta actual. La Figura 5 muestra la ventana de Consulta que se despliega.

Figura 5

Ventana de consulta con los datos de un paciente de prueba.

The screenshot shows a web application window titled "Consulta". At the top, there are five tabs: "Datos del Paciente", "Consulta", "Diagnostico", "Conclusión", and "Archivos Adicionales". The "Consulta" tab is active. Below the tabs, there is a form with patient and consultation data:

Médico: Dr. Bellera	Fecha: 19 / 08 / 2024	Hora: 19:03:23:7	Historia: 8
Paciente: Anderson Rivas	Sexo: Masculino	Edad: 11 Años	

Below this form, there are two sub-tabs: "Terapia Realizada" and "Técnica implementada". The "Terapia Realizada" sub-tab is active, and it contains a text area with the entry "Paciente control".

At the bottom of the window, there is a row of five buttons: "Regresar" (with a power icon), "Guardar" (with a floppy disk icon), "Generar Reporte" (with a printer icon), "Exportar Archivo" (with a download icon), and "AEM" (with a gear icon). Below these buttons is a single button labeled "Borrar Registro" (with a trash icon).

El botón marcado con “AEM” (Análisis Estadístico Médico) en la ventana de Consulta, ejecuta un algoritmo en IA que realiza el procesamiento de la información acumulada históricamente en las sesiones de consulta que tenga el paciente. La información obtenida con este análisis, detalla la evolución y permite optimizar el tratamiento médico de forma técnica.

El botón de “Exportar Archivo” crea un documento de texto tipo .txt, con los datos del paciente y de la consulta en curso. “Generar Reporte”, es un botón que será utilizado para imprimir un récipe médico con el formato estándar del centro médico que utilice este instrumento. El botón de guardar guarda los datos y cambia a editar consulta, cuando el médico finaliza la sesión. El botón “Regresar”, cierra esta ventana y retorna al control de la historia del paciente.

CONCLUSIONES

La integración de sistemas de inteligencia artificial en la gestión de la Historia Médica Electrónica permite un análisis continuo, más preciso y personalizado de los datos clínicos de los pacientes con espina bífida.

Esto es crucial, dado que la condición puede presentar complicaciones a lo largo del tiempo. La IA puede alertar a los profesionales de la salud sobre cambios significativos en la condición del paciente, facilitando intervenciones tempranas y reduciendo el riesgo de complicaciones severas.

Una HME puede actuar como plataforma de control de todo el sistema, facilitando la identificación de patrones en la evolución de la enfermedad, que orienten en la mejora de toma de decisiones clínicas, asegurando que cada paciente reciba un tratamiento adaptado a sus necesidades específicas. La capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de información y aprender de los resultados anteriores es fundamental para optimizar los enfoques terapéuticos y mejorar los resultados de salud a largo plazo. La ingeniería biomédica juega un papel esencial en el desarrollo de tecnologías innovadoras que complementan el uso de inteligencia artificial en el tratamiento de la espina bífida. Al combinar la ingeniería biomédica con la inteligencia artificial, se pueden desarrollar plataformas integradas que no solo abordan las necesidades médicas, sino que también promueven un enfoque holístico del bienestar del paciente, mejorando su calidad de vida y autonomía.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) suscrito del Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN) de la Universidad Tecnológica Nacional en Mendoza, Argentina, y al Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda” (UNEFM) en Coro, Venezuela, por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo de este proyecto. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

REFERENCIAS

Adzick, N. S., Thom, E. A., Spong, C. Y., Brock 3rd, J. W., Burrows, P. K., Johnson, M. P., Howell, L. J., Farrell, J. A., Dabrowiak, M. E., Sutton, L. N., Gupta, N., Tulipan, N. B., D'Alton, M. E. & Farmer, D. L. (2011). A randomized trial of prenatal versus postnatal repair of myelomeningocele. *New England Journal of Medicine*, 364(11), 993-1004. DOI: 10.1056/NEJMoa1014379.

- Au, K. S., Ashley-Koch, A. & Northrup, H. (2010). Epidemiologic and genetic aspects of spina bifida and other neural tube defects. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 16(1), 6-15. Doi: 10.1002/ddrr.93
- Bajwa, J., Munir, U., Nori, A. & Williams, B. (2021). Inteligencia artificial en la atención médica: transformando la práctica de la medicina. *Future Healthcare Journal*, 8(2), e188-e194. doi: 10.7861/fhj.2021-0095.
- Barf, H.A., Verhoef, M., Jennekens-Schinkel, A., Post, M.W., Gooskens, R.H. and Prevo, A.J. (2003). Cognitive status of young adult with spina bifida. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 45(12), 813-820. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2003.tb00896.x>
- Blount, J. P., Bowman, R., Dias, M. S., Hopson, B., Partington, M. D. & Rocque, B. G. (2020). Neurosurgery guidelines for the care of people with spina bifida. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 13(4):467-477. doi: 10.3233/PRM-200782.
- Campanella, P., Lovato, E., Marone, C., Fallacara, L., Mancuso, A., Ricciardi, W. & Specchia, M. L. (2016). The impact of electronic health records on healthcare quality: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Public Health*, 26(1), 60-64. DOI: 10.1093/eurpub/ckv122
- Copp, A. J. & Greene, N. D. E. (2013). Neural tube defects—disorders of neurulation and related embryonic processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*, 2(2), 213-227. Doi: 10.1002/wdev.71.
- Fiorente, N., Mojdehdehbaher, S. & Calabrò, R. S. (2024). Artificial Intelligence and Neurorehabilitation: Fact vs. Fiction. *Innovative Clinical Neuroscience*, 21(1-3), 10-12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38495602/>
- Jianguo W, Junwei W, Yidong L., Yurong, X. & Quande, F. (2016). Recent advances in the prevalence, diagnosis and treatment of spina bifida occulta. *Chinese Journal of Pediatric Surgery*, 37(9): 711-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2016.09.017
- Karamian, B. A., Siegel, N., Nourie, B., Serruya, M. D., Heary, R. F., Harrop, J. S. & Vaccaro, A. R. (2022). The role of electrical stimulation for rehabilitation and regeneration after spinal cord injury. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 23(1), 2. Doi: 10.1186/s10195-021-00623-6.
- Meuli, M. & Moehrlen, U. (2014). Fetal surgery for myelomeningocele is effective: a critical look at the whys. *Pediatric Surgery International*, 30(6), 689-697. Doi: 10.1007/s00383-014-3524-8.
- Pan American Health Organization (s.d.). Meta 3.2 - Reducir muertes prevenibles en recién nacidos y niños menores de cinco años. ODS 3 - Meta 3.2. <https://www.paho.org/es/ods-3-meta-3-2>.
- Ramezani, F., Razmgir, M., Tanha, K., Nasirinezhad, F., Neshastehriz, A., Bahrami-Ahmadi, A., Hamblin, M. R. & Janzadeh, A. (2020). Photobiomodulation for spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis. *Physiological Behavior*, 224, Article Number 112977. Doi: 10.1016/j.physbeh.2020.112977.

Verpoorten, C. & Buyse, G. (2008). The neurogenic bladder: medical treatment.
Pediatric Nephrology, 23(5), 717–725. DOI: 10.1007/s00467-007-0691-
z

* * * * *