

# Digitalización de la marcha. Un proyecto para un laboratorio de bajo costo, con fines asistenciales.

## Proyecto de electrónica y extensión universitaria

Ing. Ferrari Flavio, Ing. Vera José, Ing. José Rapallini, Mgr. Ing. Cordero Maria Cristina

UIDET UNITEC (Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia para la calidad en educación con orientación al uso de TIC's)

[flavioaferrari@gmail.com](mailto:flavioaferrari@gmail.com), [ing.verajose@gmail.com](mailto:ing.verajose@gmail.com), [josrap@gmail.com](mailto:josrap@gmail.com), [mcordero@gmail.com](mailto:mcordero@gmail.com)

**Resumen:** El presente proyecto nace a partir de una solicitud de la ONG (Organización No Gubernamental) APRILP (Asociación Pro Rehabilitación Infantil La Plata) y propone el desarrollo de un Laboratorio de Marcha: sistema integrado que permite registrar variables asociadas al movimiento y fuerzas generadas durante la marcha de un paciente. Debido a su alto costo fue presentado como proyecto de extensión en distintos ámbitos siendo subsidiado actualmente por: UNLP, FIUNLP, PROCODAS-MINCYT y SPU. El proyecto se plantea de bajo costo, modular, escalable y replicable; describiendo aquí el desarrollo de uno de sus módulos.

**Palabras clave:** Extensión Universitaria, Laboratorio de marcha, Análisis biomecánico, Enfermedades neurolocomotoras.

### Introducción

En la actualidad, existen muchas Organizaciones, Institutos, Establecimientos, etc.; que atienden cuestiones referidas a la salud y no poseen la tecnología acorde a sus necesidades. En muchos de estos casos el equipamiento necesario para satisfacer tales necesidades puede conseguirse en el exterior a un alto costo. Caso contrario, la modernización queda solo en una expresión de deseo.

Desde la Facultad de Ingeniería se propicia el desarrollo de un Laboratorio de marcha de bajo costo con fines asistenciales como proyecto de extensión. Es un área de vacancia pues sólo existe en el país uno en una institución privada donde los análisis poseen costos altos. El proyecto se ha basado en el desarrollo de un equipo modular, escalable y replicable, con el fin de ir incrementando prestaciones a medida que se obtengan los recursos para su financiamiento. El laboratorio se instalará en un espacio cedido por APRILP, quien recibe derivaciones de la mayoría de los organismos de salud de la provincia para su atención. El proyecto sustenta la idea de replicar el modelo también en otros hospitales del país para sustituir esta importación. Dado que el mismo se presenta como un aporte de la Facultad a la sociedad, se enmarca dentro de la extensión Universitaria y se presenta como Proyecto de Extensión.

## I. EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

### *La Extensión Universitaria y la Universidad Nacional de La Plata*

En la página web de la Universidad Nacional de La Plata [1], y en su Estatuto [2], queda claramente expresado que la Extensión Universitaria es una de sus funciones principales, definiéndola como la presencia e interacción académica mediante la cual, la Universidad aporta a la sociedad en forma crítica y creadora, los resultados y logros de su investigación y docencia, y por medio de la cual, al conocer la realidad nacional, enriquece y redimensiona toda su actividad académica conjunta. Las actividades que permiten identificar los problemas y demandas de la sociedad y su medio, coordinar las correspondientes acciones de transferencia, reorientar y recrear actividades de docencia e investigación a partir de la interacción con ese contexto, constituyen la Extensión Universitaria.

La Extensión Universitaria no es una actividad unidireccional sino que debe producirse un "diálogo" permanente entre el que da (Universidad) y el que recibe (Sociedad y Medio), lo que significa que el sujeto que da, el que extiende, se enriquece en forma permanente. Se cumplen además roles en la transformación social, transferencia tecnológica y divulgación científica entre otros.

## II. LABORATORIO DE MARCHA

**Definición:** Un Laboratorio de marcha es un sistema integrado que permite registrar variables asociadas al movimiento y fuerzas generadas durante la marcha de un paciente (niño o adulto) en función del tiempo. Es utilizado para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del sistema locomotor proveyendo información que facilita el reconocimiento preciso de los principales problemas funcionales y su relación con la causa que los genera. La adecuada interpretación diagnóstica permite planificar programas de rehabilitación kinésica funcional, acciones

quirúrgicas de alta precisión, diseño de programas de rehabilitación postoperatoria y la decisión de un tratamiento farmacológico o la evaluación de equipamiento ortésico y de asistencia.

En nuestro país sólo existe un Laboratorio de Marcha con fines diagnósticos y terapéuticos, que se encuentra bajo el ámbito de FLENI (Fundación para la Lucha contra las Enfermedades Neurológicas de la Infancia) en la localidad de Escobar [3,4, 5].

Desde el punto de vista técnico consta en principio de dos módulos bien diferenciados: un pedígrafo digital y la digitalización misma de la marcha del paciente. Básicamente el paciente realiza una marcha sobre una pasarela. En este proceso, aparte de pasar sobre una placa oculta que digitaliza su pisada, se registra con tres o más cámaras su marcha. Luego de varias “pasadas” la información obtenida de ambos módulos (huellas de los pies y los distintos videos de la marcha) es guardada en un servidor de datos en sesiones asociadas al paciente en estudio (ficha médica digital). La evaluación a posteriori de estos registros por parte de profesionales (traumatólogos, fisiatras, etc.) facilitarán el adecuado diagnóstico y tratamiento a realizar.

Destinatarios: los beneficiarios con este tratamiento son personas no mutualizadas o derivadas a APRILP desde otros nosocomios que no cuentan con la instrumentación necesaria o profesionales expertos en el tema que presentan diagnósticos de:

- Encefalopatía crónica no evolutiva. Parálisis cerebral.
- Espina bífida. Mielomeningocele.
- Secuelas de traumatismo de cráneo, infecciones o accidentes cerebrovasculares.
- Enfermedades medulares y de nervios periféricos en general.
- Afecciones del sistema locomotor de cualquier origen.
- Malformaciones congénitas.
- Diferencia de longitud de miembros inferiores
- Otras condiciones neurológicas u ortopédicas.

Los beneficiarios indirectos del proyecto son:

- Docentes sin experiencia en extensión que comienzan a dirigir actividades de este tipo.
- El equipo de trabajo al relacionarse interdisciplinariamente en una tarea compleja, en la que deberán tomar decisiones y consensuar opiniones.
- La conjunción de 3 UIDETS de la Facultad de Ingeniería para el desarrollo de la extensión universitaria.
- Alumnos de la Facultad de Ingeniería y de otras Facultades, que colaboran con el proyecto en sus diferentes aspectos, al recibir una educación basada en normas de calidad y en competencias que les aseguren aprender el “saber”, el “saber hacer”, el “saber ser” y comprometerse con la realidad social de su país.

Analizaremos pues, el desarrollo del prototipo del módulo: **digitalización de la marcha.**

### III. DIGITALIZACION DE LA MARCHA

Un análisis de marcha completo tiene una duración aproximada de 3 (tres) horas y comprende las siguientes etapas:

- Examen ortopédico
- Preparación del paciente
- Registro de video, imágenes y pisada

A. Examen ortopédico: primeramente se registran datos referentes a movilidad articular de cadera, rodilla, tobillo y pie. También se tienen en cuenta las contracturas musculares, deformidades angulares y torsionales de los miembros inferiores y apreciación del pie con y sin apoyo. Adicionalmente, se realiza la medición de la longitud de los miembros inferiores anotando si existen disimetrías.

B. Preparación del paciente: se adhieren al paciente, en los diferentes puntos de interés, marcadores reflectantes que permiten registrar los movimientos (Figura 1). Estos marcadores pueden ser activos o pasivos. Los marcadores activos son dispositivos que poseen luz propia, generalmente cilindros con baterías y led de alta luminosidad. Los pasivos, son directamente marcadores reflectantes sensibles a la luz infrarroja. Las cámaras para registrar y digitalizar la marcha difieren en función del marcador elegido.

Registro de video, imágenes y pisada: el paciente recorre una franja delimitada, mientras se lo filma con las cámaras, tratando que en las distintas pasadas “pase su pie” sobre la placa. En un análisis posterior de los registros obtenidos los profesionales se quedarán con las mejores tomas o las que son de su interés. **Nota:** se recomienda que la placa esté oculta en la superficie de la pasarela para no condicionar al paciente y lograr mediciones más reales de su marcha.

### IV. DESARROLLO

El desarrollo de este módulo se dividió en tres etapas.

- Elección de los marcadores reflectantes
- Elección de las cámaras
- Elección y desarrollo del Software

- A. Elección de los marcadores: la elección de estos marcadores puede verse desde distintos puntos de vista, bien desde la comodidad para el paciente ya que los mismos deben ser adheridos en los puntos de interés sobre la persona, lo cual se hace con abrasaderas con abrojos; bien desde el punto de vista económico ya que dicha elección conlleva a la elección de las cámaras, que son distintas para cada caso.

Los marcadores activos son pequeños cilindros que poseen en su interior tanto la pila como 1 a 3 LED's de alta luminosidad. Cualquier cámara con la definición y sensibilidad adecuadas sirve al propósito. Los marcadores pasivos son módulos que contienen un material que refleja la luz infrarroja. En este caso se utilizan cámaras que emiten radiación infrarroja capturando entonces el reflejo de esta radiación en los marcadores.

Si bien las cámaras infrarrojas son más caras que las comunes, los marcadores pasivos son más livianos y portables y por lo tanto más cómodos para ser colocados sobre el paciente. Se elige pues esta opción (marcadores pasivos y cámaras infrarrojas)

- B. Elección de cámaras: entre las distintas cámaras estudiadas dentro de la tecnología infrarrojo, las cámaras IP son la mejor opción para el proyecto. Son fáciles de usar, proveen grandes funciones de red, PoE (Power over Ethernet, alimentación por Ethernet), tecnologías P2P (Peer to Peer, red entre pares) y protocolos de streaming (transmisión) de video. Las cámaras IP puede dar la mejor calidad e imagen de alta resolución para la captura de movimiento. Normalmente, a este tipo de cámara se le añade led de infrarrojos, que son capaces de proporcionar la iluminación cuando la cámara funciona bajo condiciones de poca luz o de oscuridad completa. Como característica excluyente se requiere un mínimo de 15 FPS.

De las marcas accesibles comercialmente en Argentina, sobresale Hikvision. Entre sus modelos disponibles con esas características, se eligió específicamente el DS-2CD2632 [6] – Figura 2. Como características adicionales se destacan:

- La función WDR, que está destinada a proveer una mejor y clara imagen en ambientes de fuerte luz trasera (backlight) como la luz exterior que proviene de una ventana o de una puerta de vidrio
- ICR (Infrared Cut filter Removal): Un filtro IR (o filtro de corte IR) es un filtro de color que bloquea la luz infra-roja. A fin de evitar efectos no deseados causados por la luz infrarroja (que es parte de la luz natural del ambiente) durante la captura de imágenes, en modo día, un filtro se coloca en frente del sensor que captura la imagen.
- AWB (Automatic White Balance): El control automático de blancos (AWB) permite corregir la imagen en respuesta de la luz variable del ambiente

para reproducir un color preciso sin producir un color dominante causado por las diferentes fuentes de luz, por ejemplo, luz incandescente, luz fluorescente, luz de cuarzo, etc.

- Resoluciones de imágenes hasta 3MPX, captura en 2048x1536 pixeles.
- Performance a súper baja iluminación: Con avanzada tecnología de procesamiento de video, estas cámaras de Hikvision proveen una muy alta sensibilidad a la luz permitiendo ver imágenes a muy baja iluminación.
- Frame rate (cuadros por segundo – FPS), para 60 Hz: 15 fps (2048 x 1536); 30 fps (1920 x 1080), 30 fps (1280 x 720).

- C. Elección y desarrollo del Software: primeramente se desarrollará una interfaz para la comunicación de las cámaras con el Software. Esta deberá contar con la posibilidad de tomar la información de una o más cámaras y permitirle al Software accionar sobre ellas. El software deberá ser capaz de procesar la información y presentar a través de videos, gráficos y tablas el resultado del análisis – Figura 3. Deberá también almacenar e instanciar los análisis realizados para comparaciones futuras.

Para elegir el lenguaje adecuado, se tuvieron en cuenta los siguientes items :

- Que genere software compilado y no interpretado, para obtener el máximo rendimiento.
- Multiplataforma Linux, Windows y MacOSX
- Todas las herramientas de desarrollo basadas en OpenSource y Software Libre
- Orientado a objetos
- Disponibilidad de librerías de captura de video.

De los lenguajes disponibles a la comunidad sobresalían C++ y Lazarus (versión código abierto del lenguaje Delphi).

Para el prototipo rápido se destacaba Lazarus y por lo tanto se eligió para realizar los primeros test del software. De esta manera se acelera la integración con la infraestructura final del Laboratorio de Marcha.

El sistema operativo seleccionado es Linux, distribución Debian. Todo el sistema se eligió bajo la premisa de software OpenSource y sin necesidad de pagar ninguna licencia. El Software de comunicación con las cámaras se encuentra en la etapa de desarrollo.

## V. DESEMPEÑO DEL PROTOTIPO

En el espacio asignado por APRILP para el montaje del laboratorio de marcha se colocó la cámara anteriormente nombrada, conectada a través de un cable de red (tipo UTP

CAT 5) aprovechando las bondades de la tecnología PoE. A través de la conexión P2P se conectó ésta a una Notebook para registrar la imagen capturada del movimiento. La cámara DS-2CD2632 permite capturar imágenes en simultáneo en dos modos. Alta definición (HD) y definición Standard. La imagen en definición standard sirve para ir monitoreando el proceso mientras que la de HD se va guardando en el disco de la notebook. Los registros obtenidos satisfacen los resultados esperados permitiendo contar con información detallada del movimiento del paciente a través de la pasarela. Las bondades de la cámara permitieron analizar las imágenes en cámara lenta, paso a paso y capturando momentos de interés, realizando zoom sin pixelado. Los puntos reflectantes pudieron visualizarse correctamente, aun en condiciones de baja luminosidad.

## VI. CONSIDERACIONES GENERALES.

Se ha logrado articular entre una organización sin fines de lucro como lo es APRILP y la UIDET UNITEC de la Facultad de Ingeniería un proyecto que dotará a la institución de un Laboratorio de marcha de bajo costo con fines asistenciales. Dado que en la Provincia de Buenos Aires solo existe uno en el Hospital Fleni (Escobar), importado y de alto costo; implementar este con recursos humanos propios e insumos nacionales o conseguibles en el mercado local, permite valorar tanto el esfuerzo realizado como el desafío propuesto.

El solo pensar que un equipo importado de estas características ronda los U\$S 200.000 y nuestro desarrollo alcanza los \$ 300.000 (costo estimado al 30/7/2016), nos invita a pensar en su replicabilidad para aquellas Instituciones u Organismos de salud que lo requieran. Bajo la premisa de desarrollo basado en Hardware & Software libre, el producto final podrá entregarse con manuales de uso y fabricación incluidos.

Cabe destacar la importancia de la propuesta generada desde la Universidad, donde se fomenta la aplicación de recursos técnicos y humanos al servicio de las personas con discapacidad (en este caso con problemas neurolocomotores), y que los proyectos estén a disposición de los mismos a través de estas instituciones de bien público y de forma gratuita.

Creemos importante que la información, los proyectos y sus especificaciones deban estar a disposición del público, dándole difusión y acceso libre (léase una plataforma Web, por ejemplo).

## VII. TAREAS A FUTURO

Se plantea para lo que resta del presente año, una vez obtenidas las imágenes, filtrar a través de un Software adecuado y el desarrollo de un algoritmo a tal fin, los puntos luminosos obtenidos correspondientes de los marcadores reflectantes, unirlos con líneas y así formar el “esqueleto” virtual y analizar o comparar longitudes, ángulos, posturas, etc. Figura 3.

A la digitalización de la marcha se le suma como adelantamos, la digitalización de la pisada (pedígrafo digital) y en paralelo a todo este proceso, añadir la medición de variables biomédicas de interés a saber: presión arterial, temperatura corporal, entre otras.

## VIII. CONCLUSIONES

Se planteó a través de un requerimiento puntual de una ONG, un proyecto bianual de un Laboratorio de marcha con las premisas de: bajo costo, modular, escalable y replicable. El proyecto, acreditado y subsidiado en distintos ámbitos [7], presentado desde la Facultad de Ingeniería de la UNLP, fue separado en tres módulos (dos técnicos: digitalización de la pisada y digitalización de la marcha y uno estructural: la adecuación edilicia).

Se describió aquí la parte referida a la digitalización de la marcha a través de cámaras digitales de alta definición que capturan el movimiento del paciente (con dificultades neurolocomotoras) niño o adulto cuando camina sobre una pasarela, con marcadores reflectantes colocados sobre su cuerpo en los puntos de interés. Las imágenes obtenidas y guardadas en un equipo PC permitirán a los profesionales del tema (fisiatras, traumatólogos, etc.) estudiarlas a posteriori con detenimiento para decidir el diagnóstico y tratamiento a realizar.

El proyecto permitió integrar tres Unidades de Investigación, Desarrollo, Investigación y Transferencia de la FIUNLP. [8]

En todas las UIDETs se promueve la colaboración de alumnos de Ingeniería de los últimos años de la carrera para el desarrollo de competencias a través del aprendizaje por proyectos, que los acerquen a la realidad de sus futuras actividades laborales y profesionales.

El presente proyecto se ha difundido desde el año 2014 en notas periodísticas (Diario Hoy, Diario El Día) y Congresos sobre la temática (CADI 2014, UNQUI 2014, entre otros).

Agradecimientos: el equipo de UNITEC agradece profundamente la colaboración prestada por los profesionales del Hospital Fleni y de la ONG APRILP, principalmente de la Dra. Andrea Giles (fisiatra)

REFERENCES

- [1] [www.unlp.edu.ar/extension](http://www.unlp.edu.ar/extension)
- [2] [www.unlp.edu.ar/el\\_estatuto](http://www.unlp.edu.ar/el_estatuto)
- [3] CRESPO, M. Laboratorio de marcha y análisis de movimiento. Principios básicos y aplicaciones clínicas. Arch. Neurol. Neuroc. Neuropsiquiatr. 2009, 18, (2), 49-55.
- [4] HARO D, M. Laboratorio de análisis de marcha y movimiento Rev. Med. Clin. Condes - 2014; 25(2) 237-247.
- [5] <http://www.fleni.org.ar/especialidades/descripcion/laboratorio-de-marcha/38>
- [6] <http://www.hikvision.com/UploadFile/image/2013101906494351052.pdf>
- [7] Proyecto acreditado y subsidiado por la Facultad de Ingeniería. Convocatoria 2015. Proyecto acreditado y subsidiado por el Programa Nacional de Desarrollo y Voluntariado (SPU) convocatorias 2014 y 2015. Proyecto acreditado y subsidiado por el MinCyT (PROCODAS) convocatoria 2015.
- [8] UIDET UNITEC: Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia para la calidad en educación con orientación al uso de TIC's. UIDET CeTAD: Centro de Técnicas Análogo Digitales. UIDET "Formulación y Evaluación de Proyectos".



Figura 1



Figura 2

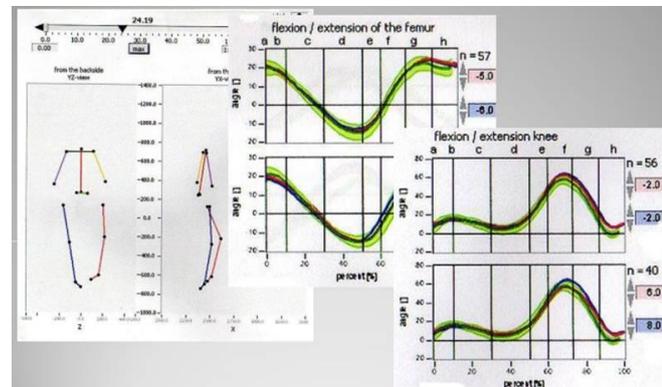


Figura 3