

PAPER

## RIESGO DE CAÍDA EN ADULTOS MAYORES: UN NUEVO CAMPO PARA LA CONCEPCIÓN DE PRODUCTOS

**MIRALLES, Mónica Teresita; GHERSI, Ignacio; BORSOI, Pablo;  
FERRANDO, María Herminia; CASTRO ARENAS, Cristhian;  
FLIGER, Carlos**

[mmiralles@gmail.com](mailto:mmiralles@gmail.com)

Centro de Investigaciones en Diseño Industrial (CIDI), FADU, UBA/  
Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud (LaBIS), Facultad  
de Ingeniería y Ciencias Agrarias, UCA

### Resumen

*El campo de investigación de la biomecánica humana, ligada al equilibrio humano, y en particular, al riesgo de caída en adultos mayores en su vida cotidiana se presenta como un nicho cuasi virgen en el campo de la producción objetual. Ello se debe al escaso número de productos comerciales destinados directamente a esta problemática, A ello se suman los productos reservados a la evaluación clínica propiamente dicha en centros médicos. Esta última área de desarrollo, al igual que la anterior, requiere incorporar a los futuros productos, no sólo los diferentes recursos tecnológicos disponibles, sino también, el procesamiento adecuado de información científica previamente generada, analizada, clasificada y elaborada según la función contemplada en el dispositivo de uso.*

*Este trabajo comienza por interrogarse sobre los productos comerciales existentes y sus características salientes dedicados al riesgo de caída de adultos mayores, desde la mirada de la integración tecnológica al diseño industrial. Para ello se realizó una revisión bibliográfica que permitió describir algunos aspectos salientes que deben reunir los productos destinados a la prevención de caídas desde las intervenciones basadas en tecnología. Respecto a los productos en centros médicos, se realiza una presentación de estudios de*

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

*equilibrio estático y de marcha realizados por el grupo de investigación, con equipos desarrollados por el mismo grupo o comerciales, análogos a los que se utilizan en el campo clínico en las evaluaciones diagnósticas.*

*Finalmente, y desde un nuevo enfoque propuesto por el grupo, el análisis de un caso, correspondiente a estudio del equilibrio de un adulto mayor con riesgo de caída. El mismo fue realizado a partir de correlacionar variables cuantitativas específicas del gesto motor, obtenidas a partir del procesamiento dedicado de las señales de equilibrio, con las puntuaciones simultáneamente realizadas durante los tests clínicos validados por la comunidad médica, realizados por expertos. De este modo, se trata de avanzar, a partir de todos estos hallazgos, en la definición de nuevos Índices que permitan mejorar la predicción del grado de riesgo de caída en adultos mayores. Este conocimiento teórico-experimental se vuelve necesario para la confección de la librería de un producto avanzado ligado al equilibrio humano.*

*Se realiza la discusión de todo lo presentado, y se reflexiona sobre los requisitos que deben reunir los productos destinados a esta particular población.*

*Palabras clave: construcciones, incertidumbre, rendimiento*

## **Riesgo de caída en adultos mayores: un campo proyectual a conquistar**

Es bien sabido que la frecuencia de caídas aumenta con la edad, a menudo como resultado de impedimentos físicos, funcionales y cognitivos surgidos del envejecimiento avanzado. Se estima que el 30% de los adultos mayores de más de 65 años se cae, al menos, una vez al año. Se sabe que, una de cada cinco caídas, resulta en fracturas óseas y en la necesidad de atención médica especializada (OMS, 2008). Las fracturas relacionadas con las caídas pueden causar discapacidades y, en algunos casos, la muerte. Sin embargo, no hay acuerdo con respecto a la frecuencia y espectro de las posibles soluciones propuestas. Las intervenciones personalizadas con el paciente y el profesional son intensivas en recursos, costo y tiempo, mientras que las intervenciones supervisadas de ejercicios grupales requieren adultos mayores con disponibilidad para viajar hasta la ubicación de los encuentros.

Por su parte, hay resistencia respecto a la aceptación de actividades autónomas en el hogar, sin supervisión profesional, debido a la falta de interactividad y de control necesario para prevenir lesiones involuntarias (Uzor et al, 2013).

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Las evaluaciones dentro del hogar involucran a los médicos que visitan a los adultos mayores para evaluar la idoneidad del entorno del hogar en relación a la movilidad del paciente. Los clínicos, luego, proponen adaptaciones mediante la instalación de equipos de asistencia para facilitar la independencia y, de este modo, mitigar cualquier posible riesgo de caídas que podría surgir durante la realización de actividades de la vida diaria. Los equipos de asistencia dentro del hogar del paciente se abren a toda una gama de productos que incluyen barras de agarre, bastidores para caminar, montacargas, asientos de inodoro elevados, barandillas, sillas elevadas y camas. A pesar de sus beneficios, hay problemas que persisten con su uso, ya que no siempre se los adopta con éxito. Por consiguiente, hay evidencia que indica que, más del 50% de las modificaciones en el hogar, es rechazada. Como resultado, ha habido un aumento en el declive funcional, dejando a los adultos mayores vulnerables al riesgo de caerse. El abandono de equipos a menudo está asociado con la falta de conocimiento sobre su uso, una actitud negativa hacia los mismos y, finalmente, con la falta de ajuste del equipo entre los usuarios y el entorno.

Las actividades de prevención de caída se han llevado a cabo en varias disciplinas que incluyen terapia ocupacional, fisioterapia, práctica general, enfermería, geriatría, gerontología y kinesiología, pero hoy el campo del diseño de nuevos dispositivos abre un área de investigación y desarrollo que, en sí misma, lleva más de 30 años en los países desarrollados, y, que hoy puede ser abordada desde el campo de las intervenciones basadas en tecnología (Hamm et al., 2016).

### **Riesgo de caída e intervenciones basadas en la tecnología**

Las intervenciones basadas en tecnología se han desplegado en una amplia gama de contextos de prevención de caídas. Las mismas complementan a las llamadas intervenciones educativas. Incluyen el diagnóstico y tratamiento de riesgos de caída, la mayor aceptación de intervenciones, la detección de las mismas y, la alerta a los médicos en caso de ocurrencia. Las innovaciones en tecnología son claves para reducir costos, disminuir la carga en el sistema de salud y mejoran la calidad y la eficacia de la atención prestada. Todo ello permite a los pacientes ser partícipes activos en la efectividad del autocuidado mejorando los resultados clínicos, a corto plazo.

Sin embargo, alentar la adopción de la tecnología ha sido crucial entre la población de la tercera edad. Ello se debe a factores tales como su facilidad de uso, la interacción intuitiva con los dispositivos y la retroalimentación multisensorial. Esta última juega un papel central en cuanto a motivarlos a participar en diferentes tipos intervenciones, sean o no clínicas. En el campo tecnológico hay necesidad urgente de explorar hasta qué punto la tecnología ha sido desarrollada para el dominio de prevención de caídas, e identificar las áreas en las que todavía se requiere trabajo para afrontar los desafíos pendientes.

Se sabe que las intervenciones tecnológicas tienen un potencial valioso, además del campo del riesgo de caída en adultos mayores, también en otros dominios como el del ejercicio físico, la educación y la evaluación en el hogar.

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

No obstante, aún no se cuenta con estudios suficientes en cuanto a en qué medida la tecnología ha sido realmente aplicada a cada uno de estos subdominios, sobre todo en el “paradigma paciente-practicante” dentro del contexto de prevención de caídas.

Se cuenta con poca investigación en cuanto a saber hasta qué punto las oportunidades para apoyar las intervenciones de caída se han explorado y, en qué medida, ellas brindan el autocuidado eficaz a los pacientes para mejorar sus resultados clínicos.

Los sistemas se usan comúnmente para detectar caídas y prevenir caídas relacionadas con lesiones. Cada una de ellas incorpora el uso de diferentes tipos tecnológicos de intervención. La literatura de la tecnología de prevención de caídas parece estar saturada de sistemas desarrollados para monitorear la marcha, detectar caídas y enviar una alerta, si ésta se detecta. Pero, a pesar de la abundancia de estos sistemas, que es mayormente producto de investigaciones no aplicadas, hay una serie de desafíos que abren nuevos nichos para la innovación.

### Factores de riesgo y tipos de intervención

En los últimos años, si bien se han destinado muchos de los numerosos aportes tecnológicos a diseñar productos para la prevención de caídas en adultos mayores, los avances en este campo siguen siendo insuficientes.

Todos estos diseños surgen de la necesidad de lograr nuevos productos con la particularidad de estar enfocados a superar los factores de riesgo que conllevan a caídas.

Estos factores comprenden aquellas caídas que son debidas a factores externos al paciente (factores extrínsecos), como también, a aquellos factores que dependen del grado de balance y equilibrio del propio sujeto (factores intrínsecos).

Con respecto a los factores de riesgo intrínsecos, una gama de tecnologías se utiliza para mitigar los déficits observados en la habilidad funcional y las deficiencias de equilibrio. Se trata de intervenciones basadas en la tecnología para permitir a los pacientes mantener su equilibrio y mejorar habilidades funcionales y, de este modo, lograr que las actividades físicas puedan realizarse con seguridad en el entorno cotidiano. En la actualidad se cuenta con sistemas que permiten:

- La detección de anomalías en patrones de marcha (Majumder et al., 2013)
- La evaluación (sin supervisión continua) de riesgo de caída para adultos mayores que viven de forma independiente, con un alto riesgo de caídas (Redmond et al., 2010).
- El monitoreo de la marcha de los adultos mayores en tiempo real y que cotejan los datos de movimiento para predecir caídas (Staranowicz et al., 2013). Pueden incluir la notificación a los cuidadores de cualquier cambio, o bien, realizar evaluaciones a distancia y tomar medidas preventivas para aliviar los riesgos de caídas (Cuddihy et al., 2012).

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

-La extracción de los parámetros de la marcha a partir de los patrones de la marcha de los adultos mayores, para realizar un diagnóstico temprano de la disminución funcional (Singh et al., 2012).

Otros sistemas se orientan a mitigar el déficit de capacidad funcional y las deficiencias cognitivas que, normalmente, se dirigen a través del uso de realidad virtual y de los juegos interactivos sobre variadas plataformas, cada vez más interactivas y atractivas para los pacientes. Como tales, se considera que las deficiencias cognitivas tienen un impacto en la capacidad funcional de los pacientes, y por ello, algunos sistemas intentan medir en qué porcentaje la cognición afecta la capacidad funcional. Todas las aplicaciones de juegos, revisadas en este trabajo, hacen uso de la consola de juegos Nintendo Wii para detectar movimientos de usuarios en tiempo real. Permiten a los interesados interactuar con juegos y control de avatares. Estas interacciones amplían cualitativamente las posibilidades de evaluar el riesgo de caída, permitiendo la autoevaluación de los riesgos de caídas en el hogar (García et al., 2014) y son un medio potencial para mejorar la estabilidad; proporcionando a los pacientes programas de ejercicio personalizados.

En cuanto a los factores extrínsecos, el número de desarrollos es menor. La novedad introduce productos robóticos para evaluar el entorno de vida de los adultos mayores en busca de peligros ambientales típicos, por ejemplo, poca iluminación, muebles inestables, falta de equipamiento en el baño; que luego proporciona esa información a los médicos (Du et al., 2014).

Debido a la dualidad de los factores de riesgo, los tipos de intervención deben abordar la evaluación funcional, evaluación cognitiva y evaluación ambiental.

En particular, la evaluación funcional es el tipo de intervención principal para determinar el riesgo intrínseco, con factores tales como déficits de capacidad funcional.

Algunos casos de desarrollos tecnológicos dedicados son:

-Un sistema de evaluación de caídas basado en teléfonos inteligentes (smartphones) para monitorear patrones de marcha anormales de adultos mayores. Los patrones de marcha se recopilan de los usuarios durante un cierto período de tiempo (Majumder et al., 2013).

-Un sistema basado en cinética corporal para recopilar, paso a paso, el tiempo de duración de un movimiento a lo largo de las diferentes tareas que componen el gesto motriz propuesto (García et al., 2014).

Todos estos sistemas pueden ser estáticos (Cuddihy et al., 2014) como el Nintendo Wii (Singh, D.K., 2012), o bien, plataformas en computadora (Du, R., 2014), o incluso, contar con sensores portátiles (Soaz et al., 2012)

Como surge de la dualidad de los factores de riesgo presentados, los diversos dispositivos existentes se pueden dividir en sistemas portátiles y no portátiles.

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Los primeros generalmente consisten en colocar un acelerómetro sobre el sujeto (por ej. en el centro de masa) para detectar cambios en los planos de movimiento y, en particular, cambios bruscos que pudieran ser indicadores de potenciales caídas.

Los segundos incluyen cámaras, sensores acústicos y sensores de presión que se colocan en el entorno normal del sujeto y usan los datos de varias variables que son procesadas simultáneamente para determinar si el sujeto se ha caído. Los dispositivos pueden medir diferentes aspectos de la caída, desde la velocidad, hasta la magnitud del impacto mismo, e incluso, la postura resultante del paciente.

Cada tipo de dispositivo parece tener sus propias fortalezas junto con ciertas debilidades.

Los dispositivos portátiles, por ejemplo, si se usan correctamente, están siempre junto al paciente y pueden detectar fácilmente la aceleración o el impacto experimentado por él. Sin embargo, éstos dependen de que el paciente recuerde -y también elija- usarlo, lo que puede ser especialmente difícil durante la noche. También dependen de la energía de la batería y pueden sufrir falsas alarmas debido al impacto o cambios en la aceleración, no causados por las caídas.

Los sistemas no portátiles no dependen de la voluntad del usuario ya que son capaces de relevar un área determinada sin apenas afectar al paciente. Sin embargo, estos sistemas están limitados a un espacio específico y adolecen de aspectos relacionados con la privacidad del sujeto. Las cámaras, con su capacidad para tomar fotos completas, o videos del paciente, han sido vistas como demasiado intrusivas. Tienen problemas de oclusión (bloqueo del paciente por otro objeto en la habitación) y se limitan a ubicaciones interiores. Una solución para estos dos problemas es usar múltiples sensores para tener en cuenta las debilidades de cada dispositivo. Por ejemplo, el acoplamiento de un sistema de cámara pasiva con un sistema portátil explicaría que el sujeto abandone el espacio de la cámara, o bien, que el sujeto se olvide de usar el dispositivo por la noche. Sin embargo, agregar más y más dispositivos podría abrumar a los adultos mayores, causando que rechacen dichos sistemas.

Los estudios han demostrado que los adultos mayores quieren poder vivir en su hogar y están más o menos dispuestos a aceptar nuevas tecnologías que respalden su independencia. Cuando se trata de tecnologías de detección de caídas, los adultos mayores responden favorablemente y descubren que el uso de estos dispositivos puede brindarles una mayor sensación de seguridad. Al mismo tiempo, sin embargo, algunos pacientes descubrieron que estos dispositivos eran intrusivos. Estaban molestos por las falsas alarmas, y en consecuencia, manifestaron su deseo de contar con más sistemas pasivos que le permitieran saber lo que el sistema estaba haciendo en todo momento.

Por todo lo analizado, el desafío en esta área proyectual, es crear dispositivos altamente precisos, que sean lo más discretos posible.

La tabla 1 muestra los diferentes productos de la empresa Smart Caregiver de Estados Unidos. Su línea de productos cuenta con:



## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

-Dispositivos de prevención inalámbrica: consta de monitores inalámbricos receptores de señales de alerta provenientes de almohadillas sensibles a variables físicas (peso, movimiento), ubicadas en diversas locaciones (silla de ruedas, alfombras, entre otras).

-Dispositivos de alarma de salida: se disponen almohadillas sensibles al peso; al percibir la variación (como por ejemplo cuando el adulto mayor se pone de pie), se emite señal al enfermero o cuidador del paciente.

-Dispositivos anti merodeo: incluyen sensores de movimiento ubicados en posiciones clave del hogar (puerta, suelo); alertando al cuidador del paciente.

-Dispositivos con sensores fijos: incluyen sensores de movimiento ubicados dentro de almohadillas. Éstas se colocan en el mobiliario de uso corriente del paciente (cama, sillas, alfombra, etc.). Al registrarse un movimiento, se alerta al cuidador del paciente.

-Sensores para silla de ruedas: incluyen sensores de movimiento ubicados en partes estratégicas de la silla. Al registrarse un movimiento, se alerta al cuidador del paciente.

Como puede verse, a partir de todo lo analizado, los productos se basan en sistemas de alarmas que pueden ser fijos o inalámbricos.

Los sensores de cámara tienen una ventaja sobre los sensores portátiles, ya que, las técnicas de procesamiento de imágenes se pueden aplicar para preservar la privacidad de los usuarios. Esta modalidad también ofrece una forma discreta de obtener información creando un medio de monitoreo de pacientes para verificar si se han caído, o no (Kepski et al., 2013).

Sistemas de intervención de prevención de caídas:

Cuando se enfoca el problema del riesgo de caída en adultos mayores, las tareas de prevención abarcan la problemática de prevenir antes de que ocurra, o bien, si ésta ha ocurrido, las situaciones de prevención posteriores a las mismas. De allí que se puedan agrupar, a su vez, en tres tipos de sistema:

- Sistemas de intervención de prevención de caídas
- Sistemas de intervención de prevención post-caída
- Sistemas de intervención de prevención de lesiones de caída

Los primeros son los ya desarrollados en referencia al riesgo intrínseco o extrínseco.

Los sistemas de intervención de prevención de lesiones de caída apuntan a detectar y responder a las caídas después de que ocurrieron y previenen o minimizan lesiones que pueden ocurrir como consecuencia de ellas. A diferencia de los anteriores, por lo general, no se enfocan en la mejora de los factores de riesgo intrínsecos o extrínsecos que pueden conducir a una caída, sino que apuntan a monitorear la actividad del paciente con el objetivo de proporcionar un canal de comunicación entre los adultos mayores y un entorno de atención.

UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Categoría	Nombre	Nombre Original	Sites de Referencia	País	¿Patente (S/N)?	Descripción	Fotos
Prevención Inalámbrica	<b>Alerta Anticaídas</b>	Cord Free Fall Monitors	<a href="http://smartcaringiver.com/wireless-call-system-with-caregiver-paging/">http://smartcaringiver.com/wireless-call-system-with-caregiver-paging/</a>	EEUU	NS/NC	Monitor inalámbrico flexible que recibe señal de alerta de todas las almohadillas inalámbricas de detección de peso y silla, tapetes, botones de llamada de enfermera y sensores de movimiento.	
	<b>Central Monitoring</b>	Central de Monitoreo		EEUU	NS/NC	Monitoreo residente desde una ubicación central. Funciona con varios componentes inalámbricos.	
Alarma de salida	<b>Alerta de Caída con cable</b>	Cord Fall Monitors		EEUU	NS/NC	Un monitor se coloca al lado de la cama o en la silla de ruedas, conectado a una almohadilla con sensor con cable. La almohadilla del sensor se coloca debajo del paciente. Cuando se levanta y se elimina la presión de la almohadilla, el monitor sonará alertando a la enfermera. Cuando la presión se vuelve a aplicar a la almohadilla, el monitor se silencia automáticamente y se reinicia.	
	<b>Alerta de Caída sin cable</b>	Cord Free Fall Monitors	<a href="http://smartcaringiver.com/cord-fall-monitors/">http://smartcaringiver.com/cord-fall-monitors/</a>	EEUU	NS/NC	Las almohadillas o alfombrillas sensoriales se colocan bajo el paciente; cuando se preparan para levantarse, se envía una alerta inalámbrica al monitor de caída para notificar a los cuidadores. Funciona como un monitor de cadena de tracción y puede transferirse fácilmente de la cama a la silla de ruedas y viceversa, eliminando así la necesidad de múltiples dispositivos de monitoreo.	
	<b>Alerta de Caída sensorial</b>	Pull-String Monitors		EEUU	NS/NC	La alarma alerta cuando la cuerda magnética de extracción se saca del monitor o cuando se quita la presión de la almohadilla sensible al peso. El monitor se reinicia automáticamente cuando se reemplaza el cable de extracción magnético o cuando se vuelve a aplicar presión a la almohadilla del sensor conectado.	
Soluciones Anti Merodeo	<b>Sensor de movimiento</b>	Motion Sensors	<a href="http://smartcaringiver.com/anti-wandering-door-monitor-system/">http://smartcaringiver.com/anti-wandering-door-monitor-system/</a>	EEUU	NS/NC	Sensor de movimiento a la alarma de caída económica inalámbrica. Dos botones de llamada para buscar personas.	
	<b>Sensores en puerta</b>	Door Exit Alarms	<a href="http://smartcaringiver.com/anti-wandering-door-monitor-system/">http://smartcaringiver.com/anti-wandering-door-monitor-system/</a>	EEUU	NS/NC	Sistema de barra de puerta anti-vaivén fácil de instalar. Monitor de puerta, alarma de salida de ventana	
	<b>Sensores en suelo</b>	Floor Mat Systems		EEUU	NS/NC	Alfombrilla con sensores y visor LCD	
Sensores Fijos	<b>Sensor de Cama</b>	Bed Pads		EEUU	NS/NC	Almohadillas del sensor de alarma de cama con cordones reemplazables de liberación segura. Funciona con monitores inalámbricos de caída. Almohadillas patentadas del sensor de alarma de cama temporizada con cordones únicos de liberación segura	
	<b>Sensor de Silla</b>	Chair Pads	<a href="http://smartcaringiver.com/fall-prevention/sensor-pads/">http://smartcaringiver.com/fall-prevention/sensor-pads/</a>	EEUU	NS/NC	Alerta a los cuidadores cada vez que se quita la presión de la almohadilla del sensor. Sin cables. Reduce los riesgos de tropezar y elimina los cables rotos o enredados. El único cable en espiral reduce los riesgos de tropezar y enredarse	
	<b>Sensor en Alfombra</b>	Floor Pads		EEUU	NS/NC	Alfombra de piso con bordes biselados y agarre antideslizante. La presión aplicada a la colchoneta activa el monitor de alarma. La presión aplicada a la colchoneta activa el monitor de alarma.	
Sensores para sillas de ruedas	<b>Alarma de salida de silla de rueda</b>	Chair Exit Alarms	<a href="http://smartcaringiver.com/fall-prevention/wheelchair-seat-belts/">http://smartcaringiver.com/fall-prevention/wheelchair-seat-belts/</a>	EEUU	NS/NC	Los cinturones de seguridad para sillas de ruedas reducen las caídas al activar un sensor cuando se desabrocha la hebilla de liberación fácil o cuando se abre la correa de enganche; notifica a los cuidadores antes de que un paciente intente abandonar su silla. Preservan la libertad de movimiento; es ideal para pacientes con poca destreza, ya que la correa de gancho y lazo se puede desatar fácilmente con una mano.	
	<b>Monitores de Cuerda</b>	Pull-String Monitors		EEUU	NS/NC	Funciona como un monitor de cadena de tracción o monitor de almohadilla de sensor y puede transferirse fácilmente de la cama a la silla de ruedas y viceversa. La alarma alerta cuando la cuerda magnética de extracción se saca del monitor o cuando se quita la presión de la almohadilla sensible al peso. El monitor se reinicia automáticamente cuando se reemplaza el cable de extracción magnético o cuando se vuelve a aplicar presión a la almohadilla del sensor conectado.	



## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Tabla 1: Presentación clasificada de la línea de productos destinados a la prevención del riesgo de caída en adultos mayores de la empresa Smart Caregiver.

Los sistemas desarrollados pueden monitorear los movimientos del paciente de forma automática utilizando una red neuronal artificial. Cuentan con sistemas de control para adultos mayores en sus actividades y con acelerómetros para determinar si el adulto está experimentando una caída. Se cuenta con sistemas que clasifican los datos procedentes de monitorear la actividad de adultos mayores con cinco registros que incluyen el movimiento vertical y horizontal, el reposo, la situación de estar sentado, estar de pie y las caídas. Si se identifica una caída, se envía un SMS a los servicios de emergencia, u otros contactos precargados (Abbate et al., (2012), (Cao et al., 2012). El servicio de mensajería multimedia automático incluye las coordenadas del GPS del paciente y la imagen autogenerada de un mapa de Google, que indica la ubicación de la caída.

Usar algoritmos que operan sobre un gran conjunto de datos de entrenamiento, que incluyen los datos de caídas e historia clínica previa del paciente, personalizando de este modo el seguimiento (Li. et al. 2010).

Rastrear y monitorear el movimiento del paciente en el hospital. Si ocurre una caída, ésta se detecta y el sistema envía automáticamente una alarma a los médicos, al igual que si los pacientes intentan abandonar sus camas, sin ayuda. Si los pacientes salen de la cama, se activa una alarma y se envía al equipo de enfermería del hospital, proporcionando la ubicación del paciente (Sahota et al.,2013). Suelen incluir sensores que dan cuenta del aumento en los niveles de actividad del paciente que pueden ser transmitidos a las enfermeras para su urgente atención y asistencia (Ferrari et al., 2012).

Detectar caídas nocturnas, donde el adulto está inconsciente y, por lo tanto, puede tener dificultades para moverse sin ayuda. Se genera una alarma para informar a los médicos de la caída (Zhang et al., 2011), particularmente en casos en que los adultos mayores se golpean la cabeza y quedan inconscientes o, no pueden buscar ayuda (Mehner et al., 2013).

Prevenir lesiones que ocurren como resultado de quedar postrado en el piso después de una caída, durante un largo período de tiempo. Esto se logra mediante pacientes que usan el teléfono inteligente y el acelerómetro. Un algoritmo incorporado puede incluir datos adicionales tales como edad, sexo, estatura y peso, para aumentar la precisión de detección del movimiento emitido desde éste dispositivo (Cao et al., 2012).

## Investigación y Evaluación Clínica del Riesgo de Caídas con Nuevas Tecnologías

En el campo de productos médicos orientados a la evaluación clínica del riesgo de caída en entornos clínicos, se encuentran exponentes destinados a la evaluación de diferentes condiciones de equilibrio, durante pruebas estandarizadas:

UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Para la evaluación del equilibrio estático, se recurre a plataformas de fuerza de alta precisión, estáticas y dinámicas, que trazan la trayectoria del centro de presiones (estimador del centro de masa), producto del proceso de control del equilibrio en posición ortostática.

La evaluación de coordinaciones dinámicas puede enfocarse en el estudio de la marcha, por ejemplo, mediante sensores inerciales que detectan aceleraciones y giros, entre otras alternativas.

	Equilibrio Estático	Marcha
Prototipo de Investigación	 <p>(I-1) Plataforma de Fuerza capacidad 200 kgf</p>	 <p>(I-2) Dispositivo Ambulatorio para análisis de movimientos</p>
Producto Médico	 <p>(M-1) Neurocom VSR</p>	 <p>(M-2) BTS G-Walk</p>

Tabla 2: Desarrollos de investigación y productos médicos para el análisis y la evaluación del equilibrio humano y riesgo de caídas.

Estos productos requieren el diseño del hardware que dispone los sensores y componentes, del firmware que garantiza la adquisición de registros, y de software

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

específico que analiza e interpreta los resultados durante protocolos de evaluación. Asimismo, proveen valores de referencia y ofrecen el aporte de escalas y umbrales de valoración para pruebas clínicas conocidas. Dos exponentes de estas alternativas fueron adquiridos por el grupo de investigación: (M-1) una plataforma Neurocom VSR y un (M-2) dispositivo G-Walk de la firma BTS (Natus, 2018; BTS Bioengineering, 2018).

La información provista por estos equipos médicos abre un camino promisorio al complemento y la validación de resultados adquiridos con los prototipos dedicados desarrollados por el grupo, para sus investigaciones. Dichos prototipos de investigación incluyen (I-1) plataforma de fuerza de capacidad 200 kgf con cuatro celdas de carga, e (I-2) dispositivo ambulatorio para análisis de movimientos mediante acelerómetros y girósopos 3D. Los cuatro equipos mencionados son visibles en la tabla 2.

Los desarrollos de investigación (I-1) e (I-2) son prototipos dedicados, que fueron creados para permitir el aprendizaje en el diseño electrónico, el control fino de la adquisición y el posterior procesamiento de señales durante pruebas controladas, siguiendo el objetivo troncal de investigación hacia la propuesta y validación de índices novedosos de rendimiento y riesgo de caídas en variadas condiciones. Los productos comerciales (M-1) y (M-2) cuentan, en cambio, con escalas de valoración incorporadas que permiten definir el buen o mal rendimiento en las pruebas integradas en su software, siendo productos médicos certificados por el ANMAT.

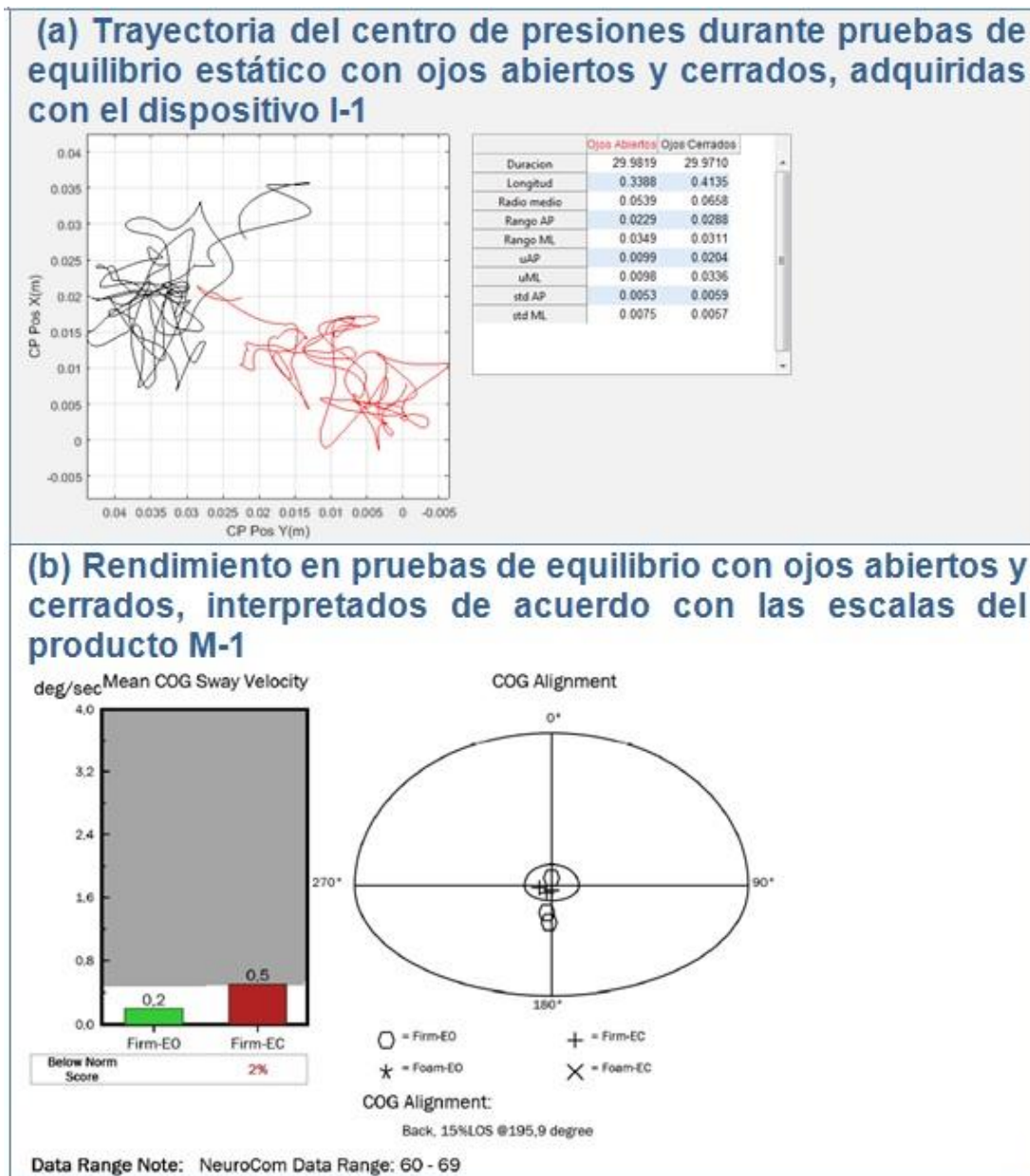


Figura 1: (a) Registros de equilibrio estático con pies juntos adquiridos durante 30 segundos sobre un sujeto de 66 años de edad, en condiciones de ojos abiertos (línea roja) y ojos cerrados (línea negra), bajo los lineamientos del test de Tinetti. (b) Sección de los resultados provistos por el sistema Neurocom VSR para pruebas similares de equilibrio con ojos abiertos y cerrados (protocolo mCTSIB).

A modo de ejemplo, la evaluación del cambio de rendimiento del equilibrio estático, entre las condiciones de ojos abiertos y cerrados, es abordada en la clínica por el test de Romberg, el cual se enfoca en la componente propioceptiva del equilibrio al sustraer la información visual en equilibrio estático (García Pastor y Álvarez Solís, 2014). Gestos similares, con variaciones menores, son incorporados en evaluaciones integrales del riesgo de caída como el test de Tinetti y el protocolo mCTSIB. La figura

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

1(a) muestra el diagrama de trayectoria del centro de presiones de un adulto mayor de 66 años de edad, adquirido con el equipo I-1, en condiciones de equilibrio estático con pies juntos y ojos abiertos (línea roja), como también con sus ojos cerrados (línea negra) durante un período de 30 segundos. Los sujetos dieron consentimiento informado para las pruebas, las cuales fueron realizadas frente a un profesional especializado en riesgo de caídas.

A partir de estos registros, el grupo de investigación tiene como objetivo la propuesta de indicadores de rendimiento que puedan servir, en un futuro, para el desarrollo de un producto que pueda complementar el conocimiento de los especialistas en el tema. Indicadores básicos de rendimiento en equilibrio estático aparecen en la figura 1(a), como por ejemplo, la longitud recorrida por el centro de presiones durante los 30 segundos del registro, que muestra un sensible incremento, para el registro con ojos cerrados, con respecto al caso con ojos abiertos.

La figura 1(b) muestra una sección de la hoja de resultados provista por el sistema M-1, Neurocom VSR, para 3 pruebas de 10 segundos sobre el mismo sujeto con ojos abiertos y ojos cerrados (parte del protocolo mCTSIB del equipo). Este sistema estima la trayectoria del centro de gravedad (COG en inglés) a partir de sus mediciones del centro de presiones, y la analiza con base en sus umbrales de rendimiento para diferentes grupos etarios. La figura 1(b) muestra una sección de los resultados de rendimiento del mismo sujeto de la figura 1(a), de acuerdo con la evaluación provista por este sistema, mostrando un rendimiento ligeramente por debajo de la norma para la condición de ojos cerrados.

En el caso del equilibrio dinámico, la marcha se caracteriza como un fenómeno altamente periódico, pudiendo ser caracterizada como la repetición de ciclos de marcha conformados por dos pasos consecutivos, alternados. El ciclo de la marcha sirve, entonces, como unidad fundamental para el análisis de este gesto.

La figura 2 muestra un registro de marcha a lo largo de 6 metros del mismo sujeto de las pruebas estáticas, adquirido con el dispositivo ambulatorio para evaluación de movimientos (prototipo I-2). El dispositivo entrega señales de aceleración 3D en este caso, a partir de las cuales se desarrollaron e implementaron métodos para la extracción automática de los ciclos de la marcha. A partir de estos registros, se propone la extracción de ciclos de marcha medios para su posterior análisis (estructura y variabilidad del registro a lo largo del tiempo, visibles a la derecha de la figura), los cuales a su vez pueden verse complementados con los resultados provistos por el sistema BTS G-Walk (M-2).



## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

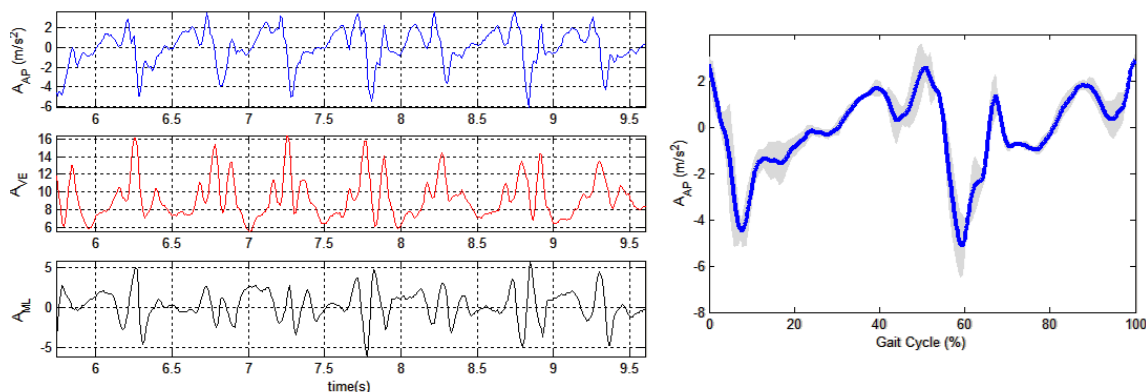


Figura 2. Registro de marcha en línea recta sobre superficie plana a lo largo de 6 metros, adquirido con dispositivo I-2, sobre un sujeto de 66 años de edad. Izquierda: Los gráficos corresponden a las señales de aceleración 3D anteroposterior (AAP, arriba), vertical (AVE, centro) y mediolateral (AML, abajo). Derecha: estimación del ciclo de marcha en el eje anteroposterior a partir tres ciclos (6 pasos) capturados en este registro. La línea azul guarda el valor medio de los tres ciclos, y la variabilidad es indicada con el sombreado gris (desvío estándar).

## Conclusiones Generales

En este trabajo se presentó una revisión y descripción de factores de riesgo y tipos de intervenciones basadas en tecnología, una presentación del enfoque clínico (estudios de equilibrio estático y marcha); un caso de estudio en un adulto mayor con riesgo de caída realizados en el grupo de investigación.

El manejo efectivo de las caídas es una tarea compleja, particularmente cuando se consideran los múltiples riesgos intrínsecos, a saber, sociales y factores físicos y riesgos extrínsecos tales como superficies resbaladizas, equipo de asistencia mal equipado o abandonado, poca iluminación, escaleras inseguras y alfombras sueltas

Se reconoce que, para reducir el riesgo de caídas, particularmente en una población adulta mayor, dirigirse a los factores de riesgo extrínsecos es tan importante como la focalización factores de riesgo intrínsecos.

El manejo efectivo de la caída para permitir que los adultos mayores vivan de forma independiente en sus hogares por más tiempo se considera extremadamente beneficioso para el paciente en términos de mantener la independencia y la calidad de vida.

Pensando en el futuro desarrollo de productos en este campo, como propuestas generales y de mejora, se pueden destacar:

Identificar nuevas oportunidades y desarrollar productos con nuevas aplicaciones basadas en tecnología, para apoyar a pacientes y profesionales en sus esfuerzos por superar los factores de riesgo extrínsecos. Los juegos interactivos 3D de realidad virtual y juegos dedicados se visualizan como una promesa de la tecnología que puede proporcionar oportunidades para superar este desafío.



## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

Desarrollar productos basados en tecnología que permiten y apoyan la educación de intervención de prevención de caídas. Tomando un enfoque proactivo para educar pacientes, que aún pueden estar en bajo riesgo de caerse, es probable que esta educación aumente su conocimiento de los riesgos potenciales y, fomente un cambio de comportamiento que puede reducir su riesgo e caída, en el futuro

Incorporar intervenciones de evaluación ambiental en los sistemas post caída. Mientras que las caídas, a menudo, ocurren como resultado de múltiples riesgos de caída, se beneficiaría gran parte de la evaluación de los factores de riesgo extrínsecos, incorporando intervenciones de evaluación ambiental.

Desarrollar, implementar y evaluar sistemas en condiciones de la vida "real". Las caídas son un fenómeno complejo y aún no se han entendido completamente. La fisiología de los pacientes, en relación con las caídas de la vida real, difiere de aquella referida a la recolección simulada de datos.

En cuanto a lo realizado y presentado en la sección Investigación y Evaluación Clínica del Riesgo de Caídas con Nuevas Tecnologías, puede concluirse que, el uso conjunto de las herramientas presentadas en la Tabla 2, permite validar algoritmos e índices alternativos de riesgo, que sean propuestos, y consolidar los resultados obtenidos de las investigaciones en la temática del riesgo de caídas, en condiciones tanto estáticas, como dinámicas. El conocimiento adquirido por el grupo en el análisis dedicado de estos gestos, junto con los índices integrales propuestos que sean validados, podrá pasar a formar parte de la librería de un nuevo producto médico avanzado, para la evaluación continua del riesgo de caídas, de manera similar a la forma en que un monitor holter permite el seguimiento de la actividad electrocardiográfica durante largos períodos.

## Agradecimientos

La presente investigación fue realizada dentro del marco del: a) Proyecto Interdisciplinario No. 20620160100004BA, subsidiado, de la Programación Científica (UBA) 2017-2019; b) financiamiento otorgado por la Pontificia Universidad Católica Argentina, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, en el marco del Proyecto: "Modelos Biomecánicos y Desarrollos de Dispositivos para la Cuantificación del Movimiento Humano en Individuos Normales y/o Disfuncionales". El grupo de investigación agradece la asistencia y colaboración realizada por la empresa Medix, para la realización de las actividades de investigación.

## Bibliografía

ABBATE S, Avvenuti M, Bonatesta F, Vecchio A (2012). A Smartphone-Based Fall Detection System. *Pervasive and Mobile Computing*. 8: 883-899.

BTS Bioengineering; G-Walk; Disponible online en <http://www.btsbioengineering.com/products/g-walk/>; Último acceso 2018.

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

CAO Y&Y, Yujia & Liu W. (2012). E-FallID: A fall detection system using android-based smartphone. Proceedings - 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD.

CUDDIHY P.E., Yardibi, T., Legenzoff, Z.J., Liu, L., Phillips, C.E., Abbott, C., Galambos, C., Keller, J., Popescu, M., Back, Skubic, J.M., Rantz, M. J. (2012). Radar walking speed measurements of seniors in their apartments: technology for fall prevention. 34th Annual International Conference, IEEE EMBS San Diego, California USA

DU. R., Jagtap, V., Long, Y., Onwuka, O., Padiret, T. (2014). Robotics enabled in-home environment screening for fall risks. Proceedings of the 2014 Workshop on Mobile Augmented Reality and Robotic Technology-based Systems, ACM: 9-12.

FERRARI M, Harrison B., Rawashdeh O, Hammond R, Avery Y, Rawashdeh M, Sa'deh W, Maddens M (2012). Clinical Feasibility Trial of a Motion Detection System for Fall Prevention in Hospitalized Older Adult Patients. *Geriatr. Nurs.* 33 (3):177-183.

GARCÍA J.A., Garcia1, J.A., Pisan, Y., Tan, C.H.T., Navarro, K.F. (2014). Assessing the Kinect's capabilities to perform a time-based clinical test for fall risk assessment in older people. *Entertainment Computing – ICEC*, UK: Springer: pp. 100–107.

GARCÍA Pastor C.; Álvarez Solís G. A. (2014) La prueba de Romberg y Moritz Heinrich Romberg; *Rev Mex Neuroci* 15(1): 31.35.

HAMM J., Money, A. G., Atwal, A., Paraskevopoulos, I. (2016). Fall prevention intervention technologies: A conceptual framework and survey of the state of the art; *Journal of Biomedical Informatic* 59:319-345.

KEPSKI, M, Kwolek, B. (2013). Unobtrusive fall detection at home using Kinect sensor, *Computer Analysis of Images and Patterns*, Springer.

LI Y, Zeng Z, Popescu M, Ho K.C. (2010). Acoustic fall detection using a circular microphone array, 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Buenos Aires: 2242-2245.

MAJUMDER A.J.A , Rahman, F, Zerin, I, Ebel, Jr W., Ahamed S.I. (2013). Prevention: towards a novel real-time smartphonebased fall prevention system. SAC '13 Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing. New York: ACM: 513-518

MEHNER S, Klauck R, Koenig H. (2013). Location-independent fall detection with smartphone. Proceedings of the 6th. International Conference on Pervasive Technologies related to assistive environments, ACM.

Natus; Neurocom Balance Master Systems - VSR, Disponible online en [http://www.natus.com/index.cfm?page=products\\_1&crd=271&contentid=397#vsr](http://www.natus.com/index.cfm?page=products_1&crd=271&contentid=397#vsr); Recuperado 13-07-18.

OMS, (2008). L.C. Unit, WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age, World Health Organization,

## UNIDAD | TECNOLOGÍA EN RELACIÓN PROYECTUAL

REDMOND S.J.; Scalzi M. E., Narayanan, (2010). Automatic segmentation of triaxial accelerometry signals for falls risk estimation. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE.

SAHOTA O, Drummond A, Kendrick D, Grainge M, Vass C, Sach T, Gladman J, Avis M. (2013). REFINE (REducing Falls in In-patieNt Elderly) using bed and bedside chair pressure sensors linked to radio-pagers in acute hospital care: A randomised controlled trial. *Age and ageing*. 43.

SINGH, D.K. Rajaratnam, B.S, Palaniswamy, V., Pearson, H., Raman, V.P., Bong, P.S.(2012) .Participating in a virtual reality balance exercise program can reduce risk and fear of falls, *Maturitas* 73 (39): 239–243.

SMART CAREGIVER, (2018). <http://smartcaregiver.com/> Recuperado 13-07-18.

SOAZ, C., Daumer, M. (2012). A feasibility study for the integration of 3D accelerometry in fall risk assessment, *Biomed Tech*, 57 (Suppl. 1):2012-4415.

STARANOWICZ, A.; Brown, G.R.,Mariottini, G.L. (2013). Evaluating the accuracy of a mobile Kinect-based gait-monitoring system for fall prediction. Proceedings of the 6th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, ACM.

UZOR, S., Baillie, L., Skelton, D.A., Rowe; P.J. (2013). Falls prevention advice and visual feedback to those at risk of falling: study protocol for a pilot randomized controlled trial. *Trials* 14 (1): 79–79.

ZHANG Z,Kapoor U, Narayanan M, Lovell N, Redmond S. (2011). Design of an unobtrusive wireless sensor network for nighttime falls detection. Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference: 5275-5278.