

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES CON NEUROPATÍA DIABÉTICA
PERIFÉRICA**

Ing. JHONATHAN SORA CÁRDENAS

**Trabajo de grado – Modalidad investigación
Como requisito para optar al título académico de:
MAGISTER EN BIOINGENIERÍA**

**Directora: D.I Martha Zequera Diaz PhD
Codirector: Ing. Francisco Carlos Calderón Bocanegra PhD
Asesor Clínico: MD. Neurólogo. Gustavo Hernando Castro González**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN BIOINGENIERÍA
BOGOTA D.C
23 de noviembre de 2018**

Resumen

La neuropatía periférica diabética (DPN por sus siglas en inglés) es la complicación más frecuente con personas con diabetes y afecta aproximadamente a la mitad de esta población. Esta se ve reflejada en la reducción de la transmisión de sensibilidad vibratoria, propioceptiva y de reflejos osteotendinosos, afectando habilidades sensoriales y motrices. Las personas con DPN tienen hasta 23 veces más probabilidades de presentar caídas y 15 veces más probabilidades de informar una lesión en comparación con adultos mayores sanos. Las caídas tienen consecuencias significativas, como la discapacidad física temporal o permanente, lo que disminuye la calidad de vida del adulto mayor y también representa un aumento de la mortalidad. Por lo cual, desde de la línea de investigación de control de equilibrio del laboratorio Footlab, el cual hace parte del grupo BASPI de la Pontificia Universidad Javeriana, se plantea un estudio piloto para poder evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con DPN mediante la implementación de un sistema predictivo a partir de la información clínica de las directrices AGS/BGS, la oscilación del centro de presión (CoP) en reposo y la prueba Timed up and Go (TUG) con el uso de tres sensores inerciales. Una muestra de conveniencia de 19 participantes (11 de grupo de control y 8 con DPN) mayores de 45 años, fueron citados para realizar la adquisición de datos, los cuales fueron utilizados como entradas para evaluar cuatro técnicas de clasificación de riesgo de caída: K-means, máquinas de vectores de soporte, K vecinos más cercanos y redes neuronales, obteniendo una precisión = 90.9%, sensibilidad = 80% y especificidad = 100%. Por lo tanto, este estudio sugiere que es posible la evaluación el riesgo de caídas en adultos mayores con DPN mediante la información clínica de las directrices AGS/BGS, la oscilación del CoP en reposo y la prueba TUG con el uso de los sensores inerciales y además tiene el potencial para implementarse en futuros estudios con poblaciones más grandes.

Aprobación del comité de ética

Este estudio se plantea bajo el marco del proyecto de investigación “Evaluación del desplazamiento del centro de presión en personas diabéticas tipo con más de 10 años de diagnóstico que presenten neuropatía diabética periférica” ID. PPTA 6911.

EL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y ÉTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

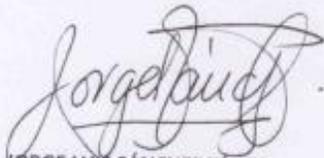
CERTIFICA

Que el proyecto de investigación “Evaluación del desplazamiento del centro de presión en personas diabéticas tipo 2 con más de 10 años de diagnóstico que presenten neuropatía diabética periférica”, cuyo investigador principal es la profesora Martha Lucía Zequera Díaz, profesora del Departamento de Electrónica, fue evaluado y aprobado por parte del Comité de Investigación y Ética de la Facultad de Ingeniería, en su sesión del 25 de junio, considerando la pertinencia de la investigación, su calidad científica, rigor metodológico, coherencia y racionalidad del presupuesto propuesto y el cumplimiento de las normas científicas, técnicas y éticas, nacionales e internacionales que rigen este tipo de investigaciones.

Es de anotar que, luego de analizar el posible impacto en el medio ambiente, el Comité considera que, el proyecto no tendrá efectos negativos sobre el medio ambiente, ni posibles impactos en seres humanos, así como tampoco hay trabajos ni efectos sobre ser vivo alguno.

Con base en lo expresado anteriormente, el Comité de Investigación y Ética conceptúa que el proyecto cumple con todos los requisitos de calidad exigidos y en consecuencia otorga su aprobación; el respectivo concepto se consigna en el acta N° 2015-05 de la correspondiente sesión.

Se expide esta certificación el 30 de junio de 2015.



JORGE LUIS SÁNCHEZ TÉLLEZ
Presidente del Comité de Investigación y Ética

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

Bogotá D.C., 30 de junio de 2015

FID-15-305

Doctora
CONSUELO URIBE MALLARINO
Vicerrectora de Investigación
Pontificia Universidad Javeriana
Ciudad

Apreciada Doctora Consuelo, reciba un cordial saludo.

En el marco de la convocatoria interna 05 de 2015, Financiación de proyectos de investigación como apoyo a los programas de doctorado de la Pontificia Universidad Javeriana, se presentó la propuesta titulada *"Evaluación del desplazamiento del centro de presión en personas diabéticas tipo 2 con más de 10 años de diagnóstico que presenten neuropatía diabética periférica"*, cuyo investigador principal es Martha Lucía Zequera Díaz profesora del Departamento de Electrónica de nuestra Facultad.

En caso de ser aprobada la propuesta, certifico que la Facultad garantiza la protección del tiempo de dedicación de la profesora Zequera, investigador principal; y del profesor Pedro Raúl Vizcaya Guarín, como co-investigador así como la contrapartida en especie del rubro de Personal por valor de \$ 19.152.480 y el rubro de Uso de Equipo Propio por valor de \$ 970.358.

Con gusto suministraré la información adicional que considere pertinente.

Cordialmente,



JORGE LUIS SÁNCHEZ TÉLLEZ
Decano de Facultad

Decanatura – Facultad de Ingeniería

Agradecimientos

El presente trabajo está dedicado principalmente a Sri Krishna (Dios) y a mi maestro espiritual, por ser los inspiradores y guías, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. A mi madre María Luz que, con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre este nuevo logro profesional. A mi novia Eleonora por su apoyo y paciencia en este proyecto de estudio. A la directora de este proyecto, Martha Zequera Diaz PhD, al codirector Ing. Francisco Calderón PhD y al asesor clínico doctor Gustavo Castro. Al equipo de laboratorio de Footlab y a los participantes del estudio. También quiero dar un agradecimiento especial al director de la maestría al ing. Daniel Suarez PhD, a Alejandra, Oscar, Luis Fernando y demás compañeros de la maestría.

Tabla de contenido

1.	Introducción	8
1.1.	Problemática	8
1.2.	Antecedentes del estudio.....	8
1.3.	Pregunta de investigación	9
1.4.	Objetivos del estudio.....	9
2.	Revisión de literatura	10
2.1.	Diabetes	10
2.2.	Tipos de diabetes.....	10
2.3.	Complicaciones de la Diabetes tipo 2	10
2.4.	Neuropatía Diabética Periférica	10
2.5.	Control postural y equilibrio.....	11
2.5.1.	Alteraciones del equilibrio en la DPN.....	11
2.5.2.	Evaluación del riesgo de caída en DPN	12
2.5.3.	Medidas clínicas de equilibrio.....	12
2.5.4.	Medidas del riesgo de caída con sensores inerciales.....	14
3.	Metodología y Métodos	15
3.1.	Grupo de Participantes.....	15
3.2.	Adquisición de Datos Clínicos	16
3.3.	Adquisición de Datos CoP.....	17
3.4.	Adquisición de Datos iTUG	19
3.5.	Obtención de etiquetas para el riesgo de caídas.....	20
3.6.	Procesamiento de datos.....	20
3.7.	Desarrollo de los modelos de evaluación	22
3.8.	Evaluación de los modelos de predicción	23
4.	Resultados.....	24
4.1.	Desempeño de la evaluación del riesgo de caída basada en factores clínicos	24
4.2.	Desempeño de la evaluación del riesgo de caída basada en datos del CoP	26
4.3.	Evaluación del riesgo de caída basada en sensores inerciales.....	28
4.4.	Evaluación del riesgo de caída basada en factores combinados	30
5.	Discusión y análisis.....	33
6.	Conclusiones y trabajo futuro	36
7.	Referencias.....	37
8.	Anexos.....	41
8.1.	Anexo 1: Consentimiento informado.	41
8.2.	Anexo 2: Protocolo toma de datos clínicos.	45

Lista de Tablas

Tabla 1. Medidas clínicas de equilibrio en personas con DPN.	12
Tabla 2 Medidas, características y modelos de evaluación para el riesgo de caídas con sensores inerciales. .	14
Tabla 3. Información de los participantes de estudio.	15
Tabla 4. División de datos para entrenamiento y prueba.	22
Tabla 5. Resultados de polifarmacia, visión e hipotensión ortostática de la evaluación clínica.	24
Tabla 6. Promedios de la duración de la diabetes, DPN y riesgos de caída de los participantes	24
Tabla 7. Comparación de datos médicos y Greene et al [16]	33
Tabla 8. Comparación datos iTUG, Greene et al [16] y Howcroft [61].....	34
Tabla 9. Comparación de la precisión de todas las técnicas con el conjunto de prueba.	34
Tabla 10. Comparación de la presión de todas las técnicas con el conjunto de entrenamiento.	35

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología y métodos.	15
Figura 2. Foto: Examen clínico	17
Figura 3. Foto: Evaluación de la oscilación del CoP.....	18
Figura 4. Sensores inerciales PocketLab, Myriad Sensors (Tamaño de 7,5 cm x 3,8cm x 1,6 cm)	19
Figura 5. Ubicación de los marcadores para la ubicación de los sensores.	19
Figura 6. Prueba iTUG	20
Figura 7. Señal de velocidad angular de los tres sensores anteroposterior (AP) y medio-lateral (ML).	21
Figura 8. Exactitud para K-means entrenamiento datos clínicos.	24
Figura 9. Exactitud para SVM entrenamiento datos clínicos.	24
Figura 10. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.	25
Figura 11. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.	25
Figura 12. Exactitud para SVM(Lineal) KNN(Medium) ANN(BR) en prueba con datos clínicos.	26
Figura 13. Exactitud para K-means entrenamiento datos de CoP.	26
Figura 14. Exactitud para SVM entrenamiento datos de CoP.	26
Figura 15. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.	27
Figura 16. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.	27
Figura 17. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN(Medium) ANN(GC) en prueba con datos de CoP.	28
Figura 18. Exactitud para K-means entrenamiento datos de iTUG.	28
Figura 19. Exactitud para SVM entrenamiento datos de iTUG.	29
Figura 20. Exactitud para KNN entrenamiento datos iTUG.	29
Figura 21. Exactitud para ANN entrenamiento datos iTUG.	29
Figura 22. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN(Medium) ANN(GC) en prueba con datos de iTUG.	30
Figura 23. Exactitud para K-means entrenamiento datos de CoP.	30
Figura 24. Exactitud para SVM entrenamiento datos de CoP.	31
Figura 25. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.	31
Figura 26. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.	31
Figura 27. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN(Medium) ANN(GC) en prueba con datos de CoP.	32

1. Introducción

1.1. Problemática

La Diabetes Mellitus (DM) es un trastorno metabólico crónico que cuenta con una prevalencia del 8,8% (425 millones) de la población mundial en el 2017 [1], siendo la Neuropatía Periférica Diabética (DPN por sus siglas en inglés) una de las complicaciones más comunes que puede afectar hasta un 50% de esta población [2]. La DPN está asociada con deficiencias físicas como, la disminución de la fuerza, restricción en la movilidad del tobillo y retardo de la conducción nerviosa periférica [3]; por otro lado también se puede evidenciar la reducción de la transmisión de sensibilidad vibratoria, propioceptiva y de reflejos osteotendinosos afectando habilidades sensoriales y motrices [4], todo lo anterior conlleva a una mayor inestabilidad postural, a patrones alterados de la marcha y al control de equilibrio alterado [5], lo que representa un aumento en el riesgo de caídas [6], especialmente en los adultos mayores [7].

Las caídas tienen consecuencias significativas para los adultos mayores como son: Dolor, alta incidencia de fracturas, movilidad reducida, pérdida de confianza y dependencia [8], lo que disminuye la calidad de vida del adulto mayor y puede ser una causa de aumento de la mortalidad [9]. Teniendo en cuenta que las personas con DPN tienen hasta 23 veces más probabilidades de caerse y 15 veces más probabilidades de informar una lesión en comparación con adultos mayores sanos [10], la evaluación del riesgo de caída en esta población específica es una herramienta de prevención importante y efectiva, que ayuda a determinar las intervenciones más apropiadas para reducir o eliminar las caídas [11].

1.2. Antecedentes del estudio

Según la literatura en el área clínica se realiza el uso de una variedad de métodos e instrumentos para evaluar la inestabilidad en adultos mayores, estas se realizan en forma de cuestionarios y pruebas físicas. Dentro de las que se encuentran Functional Reach Test (FRT) [12], la Escala de Balance de Berg (BBS) [13] y Timed "Up & Go" Test (TUG) [14]. En general estas pruebas miden el equilibrio, límite de estabilidad, integración sensorial del sistema visual, vestibular y somatosensorial entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos métodos son subjetivos [15]. Por lo cual, se han realizado varios estudios con sensores inerciales y estos han demostrado mediciones fiables para la evaluación del equilibrio y las características de la marcha [16]-[18]. Como el aplicado en un estudio realizado por Doheny *et al* [19], en donde se implementó la prueba TUG con sensores inerciales posicionados sobre la pierna derecha e izquierda. Donde se pudo clasificar el riesgo de caída de adultos mayores mediante modelos estadísticos con resultados del 79.69%, en donde los autores sugieren que la cuantificación de la prueba TUG utilizando sensores inerciales podría conducir a un método robusto para evaluar el riesgo de futuras caídas.

Sin embargo, las medidas de equilibrio identificadas con los sensores inerciales no evalúan todos los sistemas que intervienen en el equilibrio. Por esta razón es importante complementar las mediciones obtenidas con información clínica, como en el estudio realizado por Greene *et al*, S. J. [16] en donde valoraron un método estadístico para la evaluación del riesgo de caída, usando factores de riesgo clínicos estándar, una evaluación con sensores inerciales y un enfoque combinado de estos dos métodos, alcanzando una precisión de 68,8% 73,6 % y 76.0% respectivamente. En la literatura se encuentran varios estudios de la evaluación del riesgo de caída en adultos mayores, pero son pocos los estudios realizados con estos métodos de evaluación en las poblaciones de enfermedades con alto riesgo de caída como la DPN [18], [17]. Por otro lado, el centro de presión o CoP es el parámetro cuantitativo más utilizado para evaluar la estabilidad. Estudios como el realizado por Tolosa D [20], en donde se evaluó el CoP-AP (antero-posterior) en posición estática,

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

analizando los datos en el dominio del tiempo y de la frecuencia, demostró que en los sujetos con DPN presentan mayor oscilación corporal lo cual puede incurrir en problemas en el equilibrio, por lo tanto, esta es una medición vital al momento de poder evaluar el riesgo de caída en la población con DPN.

Por lo anterior y con el deseo de dar continuidad a los esfuerzos que viene realizando el grupo de investigación BASPI, desde el laboratorio Footlab del Departamento de Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana en los últimos 10 años, en la prevención y detección temprana de las complicaciones de la diabetes y particularmente en su línea de investigación en alteraciones del control del equilibrio en personas con neuropatía, condición que desencadena el riesgo de caídas, se plantea un estudio piloto en el marco del proyecto de investigación (CoP) ID. ID. PPTA 6911.

1.3. Pregunta de investigación

¿Es posible evaluar el riesgo de caída en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica (DPN) mediante la combinación de información de factores clínicos de las directrices de AGS/BGS, la variación del Centro de Presión Plantar (CoP) y la implementación de la prueba Timed Up and Go (TUG) instrumentada con los sensores inerciales?

1.4. Objetivos del estudio

Para la realización de este estudio se propone como objetivo general:

- ✓ Evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con DPN mediante la implementación de un sistema predictivo a partir la de la información clínica de las directrices AGS/BGS, la oscilación del CoP en reposo y la prueba TUG con el uso de los sensores inerciales.

Específicos:

- ✓ Caracterizar las variables clínicas de AGS/BGS, la oscilación del CoP en reposo y de la prueba TUG con el uso de sensores inerciales, en adultos mayores con neuropatía diabética periférica.
- ✓ Diseñar un protocolo de adquisición de las variables clínicas, CoP y de la prueba TUG con sensores inerciales en un grupo de control y un grupo con Neuropatía Diabética Periférica.
- ✓ Desarrollar un sistema de clasificación del nivel de riesgo de caídas a partir de técnicas clásicas de reconocimiento de patrones de las variables evaluadas.
- ✓ Evaluar el sistema de clasificación desarrollado en un grupo de prueba de por lo menos el 20% del grupo de participantes.

2. Revisión de literatura

2.1. Diabetes

La diabetes mellitus (DM) es un trastorno metabólico crónico que surge cuando se tienen niveles elevados de glucosa en la sangre (hiperglucemia), debido a que el organismo no produce suficiente cantidad de insulina o no logra utilizar dicha hormona de modo eficaz [21]. La hiperglucemia puede provocar daños a largo plazo en varios órganos del cuerpo, que conllevan al desarrollo de múltiples complicaciones. Según datos de la Federación Internacional de Diabetes el 8,8% de la población mundial padece DM lo que corresponde a 425 millones de personas, lo que generó alrededor de USD 727.000 millones en gastos en el 2017 y se presentaron 4 millones de muertes asociadas a las DM [1]. Es importante resaltar que alrededor del 79% de las personas con diabetes vive en países de ingresos bajos y medios. Particularmente en Colombia se cuenta con una prevalencia del 8,36% de la población con diabetes [22].

2.2. Tipos de diabetes

La diabetes se puede clasificar principalmente en diabetes tipo 1 y Tipo 2. La diabetes tipo 1, también conocida como diabetes insulino dependiente, es causada por la deficiencia de insulina, y se desarrolla comúnmente durante la infancia o en la juventud. Los pacientes requieren insulina de una fuente externa, y se necesita una terapia de insulina de por vida para controlar el nivel de azúcar en la sangre. Por otro lado, la diabetes tipo 2 o diabetes no insulino dependiente representa al menos el 90% de todos los casos [23]. Esta se caracteriza por la resistencia de las células del cuerpo a la insulina producida por el páncreas. A medida que aumenta la demanda de insulina, el páncreas debe producir más de esta hormona para satisfacer las necesidades metabólicas, pero con el tiempo el páncreas pierde su capacidad de producir insulina lo que aumenta los niveles de azúcar en la sangre.

2.3. Complicaciones de la Diabetes tipo 2

Aunque la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) generalmente se desarrolla en personas mayores de 40 años, en datos de la OMS del 2016 se ha observado que son los adultos mayores los que más prevalencia tienen de esta condición. La diabetes puede provocar complicaciones a corto plazo como la cetoacidosis diabética, coma hiperosmolar no cetónico y la hipoglucemia. Mientras que a largo plazo los altos niveles de glucosa se asocian con daños en el cuerpo, fallas en varios órganos y tejidos; lo que conllevan a complicaciones como arterioesclerosis, nefropatía, retinopatía, microangiopatía, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y neuropatía periférica. Esta última es la complicación más común en la DMT2 con una afectación hasta del 50% [6], estudios demuestran que esta produce deficiencias en las habilidades sensoriales y motrices, lo que conducen a una retroalimentación propioceptiva inadecuada, deterioro del equilibrio postural y a un mayor riesgo de caída [24].

Ya que se estima un aumento en la prevalencia de la diabetes para el 2045 de 628,6 millones de personas, siendo en su mayoría mayores de 65 años [25]. Es importante entender las diferentes complicaciones de la hiperglicemia en la población diabética para poder mitigar sus efectos, en este caso la neuropatía periférica diabética será vista con más detalle debido a su nivel de afectación que esta tiene en las personas con DMT2.

2.4. Neuropatía Diabética Periférica

Estudios han confirmado que la neuropatía diabética periférica (DPN) afecta aproximadamente al 50% de las personas que tienen DMT2 [26]. Específicamente, es una complicación microvascular

debida a la presencia de niveles altos de glucosa en la sangre, lo que conlleva a la modificación de la fibra nerviosa por la pérdida de la mielina, reduciendo la velocidad de conducción nerviosa [27], lo que supone un retardo en la capacidad de transmisión y de recepción de información sensitiva y de órdenes motoras, interrumpiendo la función somatosensorial. Los síntomas se experimentan inicialmente en los pies y se prolongan por las extremidades inferiores, aunque en algunos casos las manos también pueden verse afectadas [28], se ha encontrado que los factores de riesgo más significativos son: el control glicémico, la edad, la altura y la duración de la diabetes [29]. En la mayoría de los casos es asintomático y siendo el médico el encargado de notar esta afectación de manera temprana.

La DPN afecta el diámetro de las fibras nerviosas, tanto gruesas como finas [30], siendo las fibras gruesas; las encargadas de transmitir la sensibilidad vibratoria, propioceptiva, así como los reflejos osteotendinosos, mientras que las fibras finas; transmiten el dolor superficial, la sensibilidad y la temperatura [31]. La afectación de estas fibras produce atrofia muscular, deformidades óseas, disminución de la fuerza, alteraciones en el equilibrio y en los parámetros de la marcha, lo que ha llevado a concluir por parte de expertos que las personas con DPN tienen alto riesgo de caídas, especialmente en la población geriátrica [32], [33]. Por lo tanto, la evaluación del riesgo de caída en esta población es importante para poder determinar por parte de un especialista cual es la mejor forma de intervenir al paciente, pero antes se debe entender cómo se mantiene el equilibrio de forma natural y cómo es que la DPN eleva el riesgo de caída.

2.5. Control postural y equilibrio

El control postural, se define como el control de la posición del cuerpo en el espacio para fines de equilibrio, de manera que todas las articulaciones y segmentos del cuerpo trabajen de forma óptima. Para realizar el control postural se necesita como requisito una respuesta sensorial; donde están involucrados los sistemas: visual, vestibular y somatosensorial, un segundo requisito es el sistema musculo esquelético; donde la fuerza muscular, flexibilidad y la biomecánica articular están relacionados, el último requisito es el componente neurológico donde se realiza la integración sensorial y se desarrollan los procesos cognitivos y motores [34]. A través de estos requisitos, se realizan estrategias de ajustes posturales que se producen para compensar las alteraciones del equilibrio, que permiten mantener el centro de masa de una persona dentro del polígono de sustentación.

2.5.1. Alteraciones del equilibrio en la DPN

Se ha confirmado que la inestabilidad surge con el daño o deterioro de los sistemas sensoriales, motores y en el procesamiento en el sistema nervioso central [15], en el caso de las personas con DPN, se demuestra que ocurren cambios en el sistema de control postural debido a la reducción de la retroalimentación precisa del sentido de la propiocepción, junto con el deterioro de los sistemas somatosensorial, visual y vestibular [35]. Adicionalmente, la interrupción de la función neuronal y los ligamentos en la articulación del tobillo se ven afectados [36]. Un estudio con sujetos con diabetes corrobora que lo anteriormente mencionado conduce a una función decreciente de la sensación propioceptiva y táctil, que es vital para mantener la estabilidad postural [37]. Por lo cual, se ha concluido que las personas con DPN tienen un aumento del riesgo de caída debido a un deterioro funcional [38].

En estudios centrados en el control postural estático, demuestran que en los sujetos con DPN muestran un mayor desplazamiento en: el centro de presión (CoP), centro de masa (CoM), la amplitud oscilación media (MAO) y en oscilación de velocidad media (ASO) [39], [40] cuando se encuentran en una posición estática y con los ojos cerrados, comparado con adultos mayores sanos.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Por otro lado, en las características de la marcha los parámetros espaciotemporales se ven afectados en estudios con DPN, donde se demuestra que hay una menor longitud de paso [41], duración reducida del soporte único, mayor duración del doble soporte [42], disminución de la velocidad de la marcha, disminución de la cadencia [43], aumento de la relación de longitud paso a paso, aumento de la variabilidad de tiempo entre pasos [44], y mayor variabilidad de la marcha [45] en el grupo DPN en comparación con un grupo control. Por lo tanto, es vital poder evaluar los escenarios del equilibrio estático y dinámico, ya que cada uno da distinta información acerca de la estabilidad.

2.5.2. Evaluación del riesgo de caída en DPN

La evaluación clínica de la inestabilidad del adulto mayor tiene como objetivo determinar si existe un riesgo de caída. Además, reconocer cuales factores del equilibrio están afectados para poder realizar las posibles intervenciones de rehabilitación. En el área clínica se realiza el uso de distintos instrumentos y parámetros para evaluar la inestabilidad en adultos mayores con DPN, las cuales se mencionan a continuación.

2.5.3. Medidas clínicas de equilibrio

Según la literatura, existen gran variedad de mediciones clínicas para evaluación del equilibrio, estas se realizan en forma de cuestionarios, pruebas físicas, análisis de la marcha y mediciones de la actividad física. En la *Tabla 1*, se presenta las medidas de evaluación en personas con DPN y cuál fue el sistema fisiológico o tipo de equilibrio evaluado.

Tabla 1. Medidas clínicas de equilibrio en personas con DPN.

Medidas de Evaluación	Descripción de la Medida	Sistema Fisiológico o de Equilibrio Evaluado
Balance Walk [4]	Una persona es cronometrada caminando en un recorrido de 6 m x 20 cm a su ritmo habitual. Donde se observa si se está produciendo una desviación o saliendo del camino marcado en el piso.	Estabilidad dinámica
Postura tándem y unipedal [46]	Una persona realiza los ejercicios en posición tándem (un pie delante del otro) y posteriormente en una pierna de la siguiente manera: ojos abiertos (60 s), ojos cerrados (30 s) y rotación de la cabeza (30 s) con los brazos sostenido cómodamente al costado. Las pruebas se registran como logradas o no.	Balance anticipatorio, límite de estabilidad, integración sensorial de los sistemas vestibular y somatosensorial.
Prueba de Alcance Funcional (FRT) [47]	Una persona se para al lado de una pared, con su brazo levantado a 90 ° y la mano cerrada en puño. Avanzando con el puño lo más lejos posible sin dar un paso. La distancia entre la posición inicial y la final del se mide y esta se informa como la distancia de alcance.	Límite de estabilidad.
Escala de Balance de Berg (BBS) [13]	Una persona realiza 14 tareas físicas las cuales van aumentando en dificultad, desde estar sentado a parado en una pierna. Cada tarea se puntúa de 0 a 4, 4 pudiendo completar la tarea.	Equilibrio anticipatorio y reactivo, límite de estabilidad. Integración sensorial del sistema visual, vestibular y somatosensorial, estabilidad dinámica.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Evaluación de la movilidad orientada al rendimiento de Tinetti (POMA) [13]	Una persona realiza 16 (9 tareas de equilibrio puntuadas y 7 tareas de marcha) tareas puntuadas subjetivamente de 0 a 1 o 0-2.	Equilibrio anticipatorio y reactivo, límite de estabilidad. Integración sensorial del sistema visual, vestibular y somatosensorial, estabilidad dinámica.
Escala de confianza del equilibrio específico (ABC) [48]	Es un cuestionario de autoinforme de 16 ítems califica la confianza cuando se realizan actividades cotidianas. "Qué tan seguro está de que no perderá el equilibrio o se volverá inestable cuando ...". Cada pregunta tiene una calificación de 0-100%. El puntaje general es el promedio del porcentaje de todas las preguntas.	Confianza en realizar actividades específicas sin caerse o volverse inestable.
Dynamic Gait Index (DGI) [47]	Una persona camina 20 pies 7 veces, cada vez que completa una tarea diferente: caminar normal, caminar a velocidades cambiantes, caminar con vueltas de cabeza (tanto horizontal como verticalmente), girar un pivote, caminar, caminar alrededor de obstáculos, y subir escaleras. Cada tarea se puntúa 0-3, con 3 el nivel más alto de función.	Equilibrio anticipatorio, integración sensorial de los sistemas visuales y somatosensoriales, estabilidad dinámica.
Timed Up and Go (TUG) [49]	Una persona se sienta en una silla con brazos. Al momento de la indicación de "ir", la persona se para, caminan 3 m a un ritmo cómodo y seguro, dan vuelta, caminan hacia la silla y se sienta. El tiempo comienza en "ir" y se detiene cuando la persona está sentada completamente.	Estabilidad dinámica

Estas evaluaciones clínicas utilizan puntajes de evaluación con un umbral para categorizar binariamente a las personas como de alto o bajo riesgo. Sin embargo, las medidas de equilibrio identificadas anteriormente no evalúan todos los sistemas que intervienen en el equilibrio por la complejidad de este. Además, la mayoría de estas pruebas, aunque han sido aplicadas ampliamente en diferentes tipos de poblaciones como en adultos mayores, su validación en una población más específica como en personas con DMT2 o con DPN ha sido poco estudiada [50].

Autores como Scott et al, recomiendan que antes de utilizar una herramienta de evaluación de riesgo de caída, su validez predictiva debe ser probada [51], ya que debido a la naturaleza algo subjetiva de la mayoría de las pruebas, estas no cuentan con un nivel aceptable de precisión. Por lo que, en un estudio realizado por tephen D. Jernigan et al [52], que tenía como objetivo validar cuál de las 4 herramientas de evaluación de riesgo de caídas de movilidad funcional (Alcance Funcional (FRT), Escala de Balance de Berg (BBS), Dynamic Gait Index (DGI), Timed Up and Go (TUG)), es la más adecuada para poder discriminar, en las personas con neuropatía periférica diabética cuales tienen un riesgo de caída alto y cuáles no; encontrando que en la prueba de TUG cuenta con la mayor precisión de diagnóstico con un 88.9% en esta población, por lo cual se toma esta prueba como la que mejor se puede ajustar al momento de querer predecir el riesgo de caída de las personas con neuropatía diabética periférica.

2.5.4. Medidas del riesgo de caída con sensores inerciales

Se han realizado distintas pruebas en sujetos con DPN utilizando plataformas de posturografía [53], señales electromiográficas [54] y sistemas de captura de movimiento [55] las cuales proporcionan medidas objetivas y cuantitativas para la evaluación del riesgo de caídas. Sin embargo, el equipo asociado a estas pruebas usualmente se encuentra en un laboratorio de marcha y requiere una instalación que hace complicada la integración con los programas clínicos típicos. Esto limita la ubicación y la frecuencia de la prueba. Por lo que, un sistema portátil que pueda capturar y analizar datos cuantitativos de movilidad de manera eficiente podría mejorar la evaluación del riesgo de caída [18].

En individuos con trastornos neurológicos o con problemas de movilidad, las mediciones precisas y efectivas de la marcha y el equilibrio son difíciles de lograr utilizando solo herramientas de evaluación clínica [56]. Para superar estas limitaciones, se ha recomendado el uso de sistemas portátiles basados en sensores inerciales [57]. Ejemplos de estas evaluaciones instrumentadas para el control postural, el equilibrio y la movilidad incluyen iSway, iTUG e iGait. Los estudios que utilizan estos métodos han demostrado mediciones fiables para la evaluación del equilibrio y las características de la marcha [16]-[18]. Además, tiene otras ventajas como: son económicos, pequeños, portátiles y se pueden aplicar en diferentes entornos. También proporcionan medidas cuantitativas y confiables a partir de la medición de la velocidad angular y la aceleración lineal de los segmentos del cuerpo, de los cuales se pueden calcular otros parámetros del movimiento [58], para los modelos de evaluación actualmente se están utilizando distintas técnicas de reconocimiento de patrones las cuales pueden identificar el riesgo de caída en el adulto mayor, con un muy buen resultado. En la *Tabla 2*, se enlista algunas de las medidas, características y modelos de evaluación para el riesgo de caídas con sensores inerciales.

Tabla 2 Medidas, características y modelos de evaluación para el riesgo de caídas con sensores inerciales.

Medidas de Evaluación	Categorías de características	Modelos de evaluación
Índice de Barthelemy	VARIABLES DE POSICIÓN Y ÁNGULO	Redes Neuronales
Prueba de Fukuda	VARIABLES DE VELOCIDAD ANGULAR	Máquinas de soporte vectorial
Prueba de desempeño Físico	VARIABLES DE ACCELERACIÓN LINEAL	K-nearest neighbour
Evaluación Tinetti	VARIABLES ESPACIALES	Árbol de decisión
Timed Up and Go	VARIABLES TEMPORALES	Regresión Logística
Prueba mini motora	VARIABLES DE ENERGÍA	Curvas ROC

Para concluir, un método objetivo basado en la evidencia que facilite la evaluación del riesgo de caída sería adecuado para permitir concentrar sus esfuerzos en el examen detallado para identificar los factores específicos que conducen al nivel de riesgo identificado, y la posterior implementación de intervenciones correctivas apropiadas para disminuir el riesgo. Esto debería conducir a una mejor calidad de la atención y una reducción en los costos hospitalarios asociados, debido a un menor número de ingresos y lesiones reducidas debido a la caída. Además, son pocos los estudios realizados con estos métodos de evaluación en las poblaciones de enfermedades con alto riesgo como la DPN [18], [17]. Por lo cual, este estudio se quiere centrar en evaluar un sistema de valoración de riesgo de caídas en adultos mayores con DPN, combinando la información clínica, el equilibrio estático mediante el COP y la prueba TUG instrumentada.

3. Metodología y Métodos

Una vez culminado el proceso de la revisión de literatura, se identificaron las variables que fueron implementadas en este estudio, para cada una de las pruebas clínicas, de centro de presión (CoP) y Timed up and Go con sensores inerciales (iTUG). Posteriormente se realizó la elaboración de un protocolo para la adquisición de los datos, a partir de la información de las directrices de la guía clínica AGS / BGS; las cuales aportan datos de los principales factores de riesgo clínicos, centro de presión; el cual da información de la oscilación del participante en equilibrio estático, y la prueba Timed Up and Go con el uso de los sensores inerciales para la obtención de datos de la estabilidad dinámica. Una vez realizada la adquisición de datos se realizó el procesamiento de las señales de los sensores inerciales que junto a los datos clínicos y del CoP fueron utilizados como entradas de cuatro técnicas de reconocimiento de patrones básicos (K-means, SVM, KNN y ANN), los cuales fueron valorados y comparados para poder establecer cuál de las técnicas aplicadas tenía un mayor desempeño al momento de evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Periférica Diabética. A continuación, se profundiza en las técnicas y cómo fueron implementadas en este estudio.



Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología y métodos.

3.1. Grupo de Participantes

Una muestra de conveniencia de 19 participantes, son reclutados del laboratorio Footlab que pertenece al grupo de investigación BASPI de la Pontificia Universidad Javeriana. Los participantes se dividieron en dos grupos; un grupo de control con 11 participantes y un segundo grupo con 8 participantes con neuropatía periférica diabética. En la Tabla 3 se resume la información de los participantes del estudio. En el grupo de participantes con DPN hacen parte del grupo cautivo del laboratorio del Footlab y al cual se le ha dado un seguimiento en diferentes estudios desde hace 3 años.

Tabla 3. Información de los participantes de estudio.

Variable	Total de participantes (n=19)		Riesgo Alto (n = 5)	Riesgo Bajo (n = 14)
	Control = 13	DPN = 6		
	Promedio (DE)	Rango		
Género	H = 10 (52.6 %) M = 9 (47.4 %)		H = 1 (20 %) M = 4 (80 %)	H = 9 (64.3 %) M = 5 (35.7 %)
Edad (años)	62.4 (11.4)	46 - 83	69.2 (11)	59.9 (10.9)
Estatura (cm)	161.2 (9.4)	147 - 180	153.8 (3.5)	163.9 (9.5)
Peso (Kg)	62.8 (9.5)	49 - 80	60 (9)	63.8 (9.9)
Control			n = 3 (15.8 %)	n = 10 (52.6 %)
DPN			n = 2 (10.5 %)	n = 4 (21.1 %)

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Todos los participantes fueron mayores de 45 años, los requisitos de inclusión para el grupo de control fueron: estar en condición médica estable, poder caminar de forma independiente y sensibilidad sensorial normal. Los criterios de inclusión para participantes con neuropatía fueron: Diagnóstico de diabetes tipo 2, confirmación de la presencia de la neuropatía diabética periférica mediante exploración clínica. Los participantes fueron excluidos si presentaban: Heridas y/o úlceras en los pies, alteraciones biomecánicas en los pies, amputación parcial y/o total del pie, personas que pesen más de 150 Kg, necesidad de mecanismos de ayuda asistida para permanecer de pie, presencia de enfermedades del aparato locomotor sintomáticas que impidiesen una correcta bipedestación, presencia de debilidad muscular en miembros inferiores, presencia de enfermedad psiquiátrica o deterioro cognitivo que pudieran impedir, comprender, ejecutar las pruebas clínicas y las pruebas del estudio.

Este estudio cuenta con la aprobación del Comité de ética de la universidad. Todos los participantes firmaron el consentimiento informado (Anexo 1) para la participación en este estudio piloto, después de recibir descripciones orales y escritas de la investigación y los procedimientos experimentales. Es importante aclarar que este estudio está dirigido a adultos mayores, pero por la dificultad de la consecución de participantes para este estudio se decidió ampliar el rango de la edad de los participantes para el cual quedaría para mayores de 45 años en vez de mayores de 60 años.

3.2. Adquisición de Datos Clínicos

La adquisición de datos clínicos se realiza mediante una evaluación médica que es ejecutada por un médico neurólogo con más de 10 años de experiencia en el laboratorio de Footlab, la cual consta de un examen físico, cognitivo y funcional. Esta se efectúa siguiendo las directrices de la guía clínica AGS / BGS (American Geriatrics Society/British Geriatrics Society), la cual ofrece pautas destinadas para capturar los principales factores de riesgo clínicos relacionados con las caídas en los adultos mayores [59].

La evaluación clínica se realizó con la adquisición de los siguientes datos:

- ✓ Género (Masculino/Femenino)
- ✓ Edad (años)
- ✓ Estatura (cm)
- ✓ Peso (Kg)
- ✓ Polifarmacia (Ausencia / Presencia): se revisa la medicación de cada participante para determinar si tenían polifarmacia, la cual se define como el uso de cuatro o más medicamentos recetados.
- ✓ Hipotensión ortostática (Ausencia / Presencia): definida como caída de presión arterial sistólica ortostática > 20 mmHg en el momento de pasar de estar acostado a estar de pie.
- ✓ Problemas de visión no corregidos (Ausencia / Presencia): La visión se evaluó utilizando la escala de sensibilidad de contraste Pelli-Robson y la escala log MAR binocular.
- ✓ Tiempo de la duración de diabetes (años).
- ✓ Tiempo de la duración de DPN mediante la prueba de sensibilidad con monofilamento de 10 g de Semmes-Weinstein.
- ✓ Examen general para poder clasificar al paciente dentro los criterios de inclusión o de exclusión.

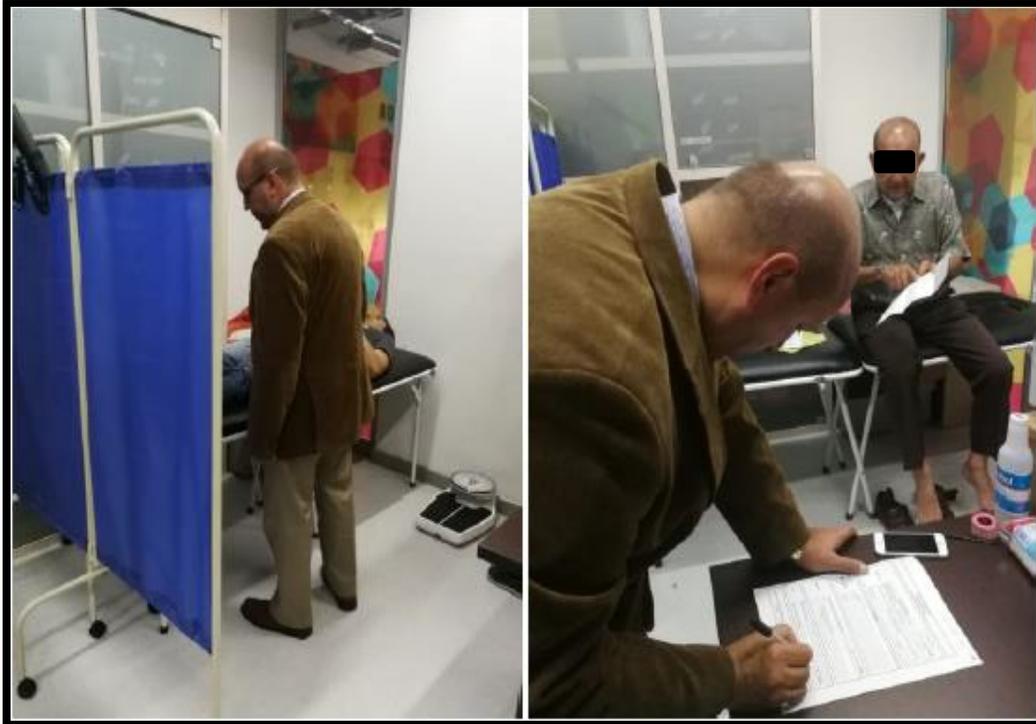


Figura 2 Foto: Examen clínico

Todos los datos recolectados fueron diligenciados por parte del médico en un formulario realizado para este fin, Anexo 2.

3.3. Adquisición de Datos CoP

Según Fortaleza *et al* [40] y Toloza [20], los sujetos con DPN muestran una mayor fluctuación del CoP cuando se encuentran en una posición estática, comparado con adultos mayores sanos, en condiciones: ojos abiertos (EO), ojos cerrados (EC), por lo cual se tomó la oscilación medio-lateral (ML) y anterior posterior (AP) en condiciones EO, EC, como factores para tener en cuenta en la evaluación del riesgo de caída.

En la adquisición de la oscilación del centro de presión (CoP) se utilizó la plataforma de presión EcoWalk (Ecosanit, Anghiari, Arezzo, Italy), la cual tiene unas medidas de 67 cm de largo x 54 cm de ancho y está compuesta por 2304 sensores resistivos, dispuestos en una matriz de 48 x 48 sensores (1 sensor/ cm²) y cuenta con un software dedicado (EcoFoot 4.0) para la adquisición de los datos con una frecuencia de muestreo de 30 Hz. La repetibilidad de esta plataforma ya ha sido estimada a través de un análisis matemático y estadístico de los parámetros involucrados en las mediciones del sistema plantar de presión, por parte del grupo de investigación BASPI de la Universidad Javeriana, encontrando una repetibilidad para el parámetro del área de contacto fue inferior al 4% [60].

En la toma de datos se le indicó al participante que debe mantener una postura erguida sobre ambos pies descalzos con talones separados al ancho de los hombros (para lo cual se usa una guía en la plataforma para la posición de los pies, diseñada por el Footlab). Figura 3, con brazos al costado

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

y relajados para la realización de las pruebas. Igualmente, se le realizó una demostración de las diferentes condiciones de las pruebas y cómo debe realizarlas para el caso de ojos abiertos y cerrados.

Las dos pruebas corresponden a:

- ✓ Ojos abiertos: El paciente debe mantenerse 10 segundos inmóvil sobre la plataforma rígida, con los pies separados (a distancia entre los hombros), brazos relajados, cabeza recta, ojos abiertos con la mirada fija en un punto de referencia que se encuentra a la altura del nivel de los ojos a 2 metros de distancia.
- ✓ OC: ojos cerrados: El paciente debe mantenerse 10 segundos inmóvil sobre la plataforma rígida, con los pies separados (distancia entre los hombros), brazos relajados, cabeza recta y ojos cerrados.

Para cada prueba se realizan 3 réplicas, intercalados por 30 segundos de descanso. Las pruebas se realizan con los pies descalzos, sin accesorios pesados. Inicialmente se estableció en el protocolo un tiempo de toma de datos sobre la plataforma de 30 segundos, pero debido que en la prueba con ojos cerrados se observó algunos participantes una oscilación que podría representar un riesgo de caída, se tomó la decisión de reducir el tiempo de recolección de datos de la plataforma a 10 segundos, pensando en la seguridad del participante y en minimizar los riesgos de caída.



Figura 3 Foto: Evaluación de la oscilación del CoP

Los datos recolectados de esta prueba fueron: La oscilación en las direcciones (mm): superior, inferior izquierda y derecha. Para el pie izquierdo, pie derecho y corporal. También se adquirieron los porcentajes y área de la superficie de contacto anteroposterior de cada pie, en condiciones de ojos abiertos y ojos cerrados.

3.4. Adquisición de Datos iTUG

La prueba Timed Up and Go (TUG), es la evaluación clínica que cuenta con la mayor precisión de diagnóstico para la evaluación del riesgo de caídas en personas con DPN [52]. Además, la utilización de un sistema de sensores inerciales en esta prueba, hacen que las mediciones sean fiables para la evaluación del equilibrio y las características de la marcha [16]-[18]. También proporcionan medidas cuantitativas y confiables a partir de la medición de la velocidad angular y la aceleración lineal de los segmentos del cuerpo, de los cuales se pueden calcular otros parámetros del movimiento [58].

Se utilizaron 3 sensores inerciales PocketLab, Myriad Sensors (Figura 4), adquiriendo los datos a través del Bluetooth utilizando un software dedicado para cada sensor. Cada sensor es triaxial y contiene un acelerómetro y un giroscopio. Los datos del sensor se muestrearon a 20 Hz con un rango de +/- 8 g y una resolución 0.004 g para el acelerómetro. Para el giroscopio se tiene un rango de ± 2000 deg/sec con una resolución 0.1 deg/sec @ 92 Hz. Al momento de verificar la frecuencia real de muestreo en las señales obtenidas se encontró que para el sensor uno y dos, ubicados en la parte inferior de la espalda y en la pierna izquierda contaban con una frecuencia de muestreo de 20 Hz, mientras que el sensor tres ubicado en la pierna derecha contó con una frecuencia muestreo de 30 Hz.



Figura 4. Sensores inerciales PocketLab, Myriad Sensors (Tamaño de 7,5 cm x 3,8cm x 1,6 cm)

Se realizó una versión instrumentada de la prueba TUG, utilizando tres unidades de medición inercial que se fijaron en la parte inferior de la espalda, sobre las vértebras L3 a L5, esta ubicación se escogió por la aproximación a la ubicación del centro de masa [61], los otros dos sensores son ubicados en el punto medio frontal de la pierna izquierda y derecha respectivamente [19]. Para lo cual se tomaron las medidas anatómicas de cada paciente y se realizó el uso de marcadores para garantizar la colocación de los sensores en los puntos deseados.



Figura 5. Ubicación de los marcadores para la ubicación de los sensores.

La implementación de la prueba iTUG (Figura 6) comienza con el participante sentado en una silla estándar con apoyabrazos, la persona debe ponerse de pie, caminar recta por 3 metros a su ritmo normal, darse la vuelta, caminar hacia la silla y sentarse nuevamente. El tiempo de la prueba se inicia en el momento que se la orden de "ir" y se detiene en el momento en que la espalda del participante toca el respaldo del asiento. Se mostró al participante como se realiza la prueba por parte de un investigador y se realizó un ejercicio de ensayo por parte del participante, con el fin de familiarizarse con la prueba. La prueba contó con 3 réplicas por participante y un descanso de 1 minuto entre las pruebas.

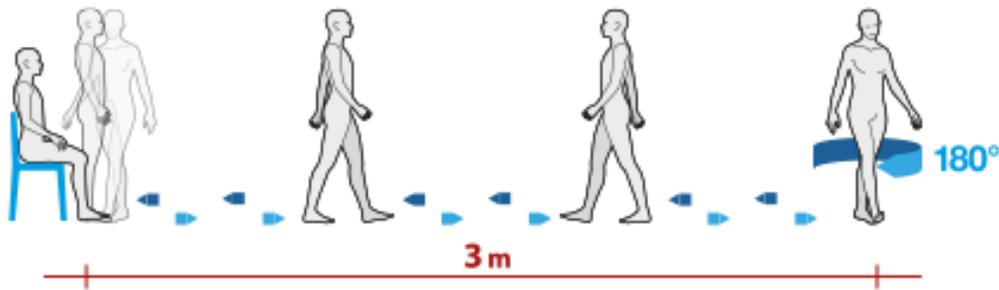


Figura 6. Prueba iTUG Tomada de: <https://www.btsbioengineering.com/wp-content/uploads/2016/08/bts-g-walk-timed-up-and-go.png>

Los datos recolectados de esta prueba fueron: la velocidad angular (RPM) y la aceleración lineal (m/s^2) de los tres sensores inerciales en los ejes X para la dirección anteroposterior, eje Y para la dirección medio-lateral y el eje Z para la dirección vertical, los datos se guardaron en formato de CVS para su posterior procesamiento.

3.5. Obtención de etiquetas para el riesgo de caídas

Esta se efectúa siguiendo las preguntas de evaluación de la guía clínica AGS/BGS [59], las cuales se recogieron mediante una encuesta de datos "auto" informados con las siguientes preguntas: ¿Ha tenido dos (2) o más caídas en los últimos doce (12) meses?, ¿Presentó una caída aguda? y ¿Presenta dificultada para caminar o mantener el equilibrio?, cualquier respuesta afirmativa a las preguntas anteriores coloca al participante en el grupo de alto riesgo y los resultados de esta encuesta son utilizados como las etiquetas de clasificación de los participantes.

Las etiquetas se definieron como:

Clase 0: Riesgo bajo de caída.

Clase 1: Riesgo alto de caída, pertenecientes al grupo de control.

Clase 2: Riesgo alto de caída, pertenecientes al grupo con DPN.

3.6. Procesamiento de datos

Se inicia el procesamiento para los datos del CoP, tomando los datos de la oscilación en las direcciones: superior, inferior izquierda y derecha, con las cuales se halló la oscilación medio lateral (ML) y oscilación anteroposterior (AP) y el área de superficie de contacto. Cada uno de estos datos fueron obtenidos para el pie izquierdo, pie derecho y la del cuerpo completo correspondiente a la medición de los dos pies. Además, se obtuvo el porcentaje de contacto del pie anterior y posterior corporal, tanto para las condiciones de ojos cerrados como para ojos abiertos. Para un total de 22 características para cada uno de los 19 participantes.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Por otro lado, para la prueba iTUG se organizaron todos los archivos que estaban en formato CVS, de los 19 participantes con sus tres replicas, de los cuales se contaba con los datos de los tres sensores, cada sensor tenía medidas de velocidad angular y aceleración, en los ejes AP, ML y V. Para un total de 1026 señales. Para el análisis de esta prueba se usaron las tres réplicas de los 19 participantes (57 en total), estas fueron graficadas y revisadas, de las cuales se descartaron 2 réplicas por errores en los archivos, contando con un total de 55 conjuntos de datos para evaluar.

Posteriormente, se realizó la sincronización de las señales de forma manual, tomando como referencia la velocidad angular del sensor ubicado en la espalda y encontrando el inicio (momento de levantarse de la silla) y fin de la prueba (momento de sentarse nuevamente), el cual se tomó esta ventana de inicio y fin como referencia para las demás señales. Un ejemplo de la señal de velocidad angular de los tres sensores, anteroposterior (AP), medio-lateral (ML) y de la sincronización manual es presentada en la figura 7.

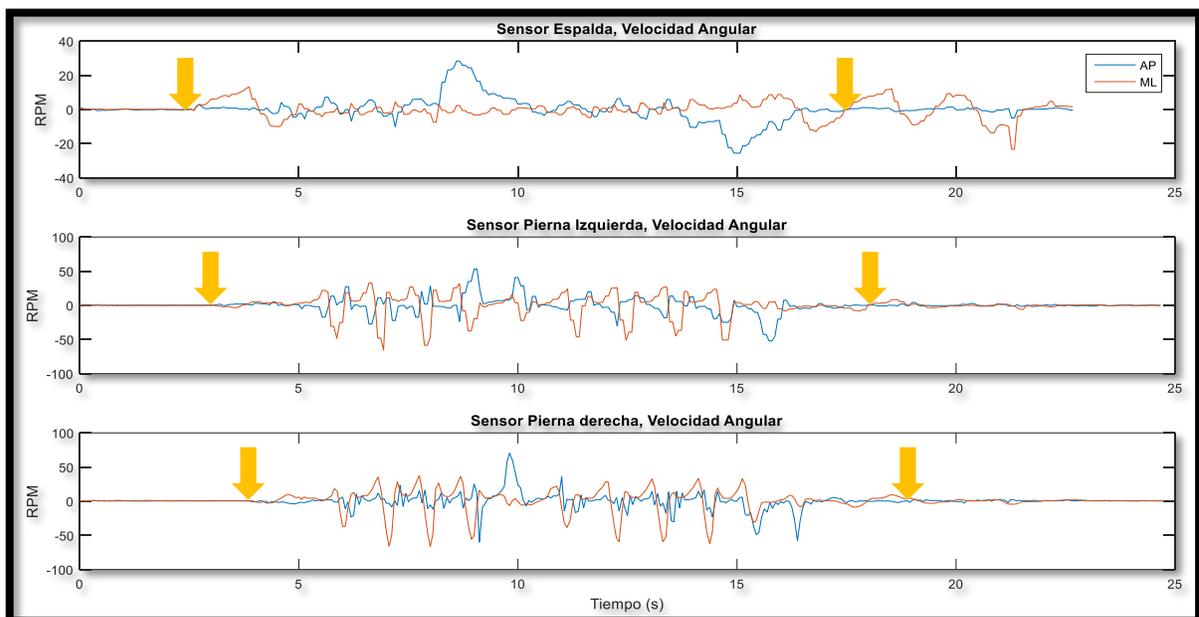


Figura 7. Señal de velocidad angular de los tres sensores anteroposterior (AP) y medio-lateral (ML).

A continuación, se extrajeron las características de las señales, las cuales fueron basadas en estudios de literatura realizados por J. Howcroft, et al [18] y L. Montesinos et al [17], en los cuales se encontraron 175 características, de las cuales 84 eran significativas, y fueron clasificadas en: posición y ángulo, velocidad angular, aceleración lineal, espacial, temporal, energía y frecuencia. Seguidamente, se revisaron las características teniendo en cuenta con cuales de estas variables se obtuvieron resultados significativos según la prueba realizada (TUG) y la ubicación de los sensores. De las cuales se encontraron un total de 44 posibles características que se podrían utilizar. Inicialmente se tomó la transformada rápida de Fourier FFT con 30 puntos y tomando los primeros 15 puntos, para obtener la magnitud y la fase para el análisis del comportamiento de las señales, en el momento de realizar pruebas preliminares con SVM, KNN y ANN se obtuvieron valores de precisión promedio del 80% en entrenamiento, por lo que se tomó la decisión de probar otras características que nos arrojaron mejores resultados. Encontrando que las características de valor mínimo, máximo, promedio, mediana, desviación estándar y valor RMS, en las direcciones medio-lateral y anteroposterior tenían un mayor rendimiento por lo cual se usaron como las características

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

para extraer a las señales de aceleración y velocidad. Obteniendo de las 6 características, de los tres sensores, de las medidas de velocidad y aceleración en las direcciones medio-lateral y anteroposterior un total de 72 características por participante que, junto a las 9 características médicas, 22 características del CoP y la etiqueta de clasificación, son los insumos de entrada para el desarrollo de los modelos de evaluación.

3.7. Desarrollo de los modelos de evaluación

Se evaluó la capacidad de clasificación de riesgo de caída en cuatro técnicas de reconocimiento de patrones básicos en su mayoría supervisados: K-means (no supervisado), Máquina de vectores de soporte (SVM), K vecinos más próximos (KNN) y Redes neuronales artificiales (ANN). Para los cuales el nivel de riesgo de caída fue el criterio de clasificación, clase 0 (Riesgo bajo), clase 1 (Riesgo Alto Grupo de Control) y clase 2 (Riesgo Alto Grupo con DPN). Todos los modelos se desarrollaron con los algoritmos en el software Matlab 2018a. Se dividieron los datos, en 80% para entrenamiento y el 20% se usaron para las pruebas, ya que las clases estaban desbalanceadas, se tomó la decisión tanto en entrenamiento como en prueba de dividir los datos según su proporción de los datos totales; riesgo bajo $n = 14$ (73.7%), riesgo alto control $n = 3$ (15.8%), riesgo alto DPN $n = 2$ (10.5%), para garantizar que se contaran con datos de las 3 clases.

Tabla 4. División de datos para entrenamiento y prueba.

	Riesgo Bajo	Riesgo Alto Control	Riesgo Alto DPN	Total
Entrenamiento	11	2	1	14
Prueba	3	1	1	5

Se inició con el método de clasificación no supervisado de K-means, con $k = 3$ utilizando la distancia euclidiana, mediante esta técnica se quería agrupar los datos por las características ingresadas. Para las máquinas de soporte vectorial (SVM), se evaluaron con las funciones kernel: lineal, polinómico de orden 2 y 3, y la función de base radial (RBF) fine, médium y coarse. Para la técnica de KNN se utilizaron las técnicas: fine, médium, coarse, cubico, coseno y ponderado. Para SVM y KNN se utilizó validación cruzada con 5 divisiones. Para las redes neuronales se implementaron con tres funciones de entrenamiento, Levenberg-Marquardt, Regularización Bayesiana y escala de gradiente conjugado, para las cuales se utilizaron 2 capas ocultas, función de transferencia sigmoidea y los parámetros de entrenamiento predeterminados. Se evaluaron con las combinaciones de 5, 10, 15, 20 y 25 neuronas por cada una de sus capas ocultas. Se realizaron un total de 5 corridas en entrenamiento para cada técnica.

Ya que el objetivo de este estudio es evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con DPN mediante la implementación de un sistema predictivo a partir la de la combinación de la información clínica, CoP y la prueba iTUG, se realizó la evaluación de los datos de forma individual para poderlos comparar con las tres fuentes de datos combinadas. Por lo cual, para el modelo de predicción de riesgo de caída con los datos clínicos y del CoP se utilizaron 14 participantes (80%) y 5 participantes (20%) como pruebas, mientras para la evaluación del iTUG se usaron los datos de los participantes y sus tres replicas, 44 conjunto de señales para entrenamiento (80%) y 11 conjunto de datos para pruebas (20%).

Posteriormente se promedian los 5 resultados de la precisión obtenida por cada técnica y se escoge el mejor por cada uno, en el caso de las redes neuronales se promediaron los valores de la precisión por cada combinación de neuronas, tomando el valor más alto del promedio y que tuviera el menor

número de neuronas, tanto en la capa uno como en la capa dos fue la seleccionada. Y el mejor de cada técnica fue utilizado para ser probado con el conjunto de datos de prueba.

3.8. Evaluación de los modelos de predicción

El rendimiento del clasificador para cada algoritmo de evaluación de riesgo de caída se evaluó utilizando medidas de rendimiento del clasificador estándar. La precisión se define como el porcentaje de sujetos clasificados correctamente por el algoritmo como bajo riesgo, alto riesgo control y alto riesgo DPN; la sensibilidad se define como el porcentaje de alto riesgo identificados correctamente; De manera similar, la especificidad se define como el porcentaje de los que no han caído correctamente identificados. La evaluación se realiza de forma independiente para los datos clínicos, los datos del centro de presión, los datos de los sensores inerciales y finalmente los datos combinados. Esperando que la combinación de estas técnicas tenga un mayor desempeño que las técnicas de forma individual, al momento de clasificar el riesgo de caída de personas con neuropatía diabética periférica.

4. Resultados

4.1. Desempeño de la evaluación del riesgo de caída basada en factores clínicos

Una vez realizada la adquisición de datos clínicos se tienen los siguientes resultados resumidos en la tabla 5 y 6:

Tabla 5. Resultados de polifarmacia, visión e hipotensión ortostática de la evaluación clínica.

	Control		DPN	
	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia
Polifarmacia	11	2	0	6
Visión	3	10	0	6
Hipotensión	6	7	2	4

Tabla 6. Promedios de la duración de la diabetes, DPN y riesgos de caída de los participantes

Grupo	Promedio de la Duración Diabetes (años)	Promedio de la Duración DPN	Riesgo Alto (n = 5)	Riesgo Bajo (n = 14)
Control			n = 3 (15.8%)	n = 10 (52.6%)
DPN	20.7 ± 6.7	3.5 ± 2	n = 2 (10.5%)	n = 4 (21.1%)

Los resultados del entrenamiento (n=14) para los modelos de clasificación con datos clínicos, para el K-means con k=3 se muestran en la Figura 8.

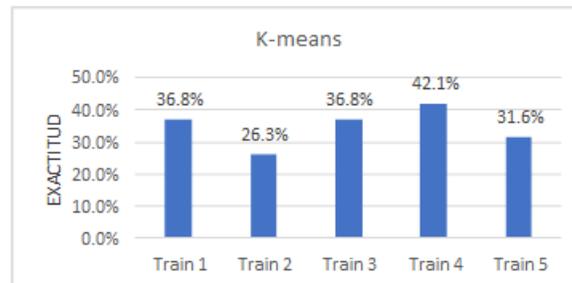


Figura 8. Exactitud para K-means entrenamiento datos clínicos.

Para la Máquina de Soporte Vectorial, se utilizó el kernel lineal, cuadrático, cubico, gaussiano fine, gaussiano médium y gaussiano croase, los resultados se muestran en la Figura 9.

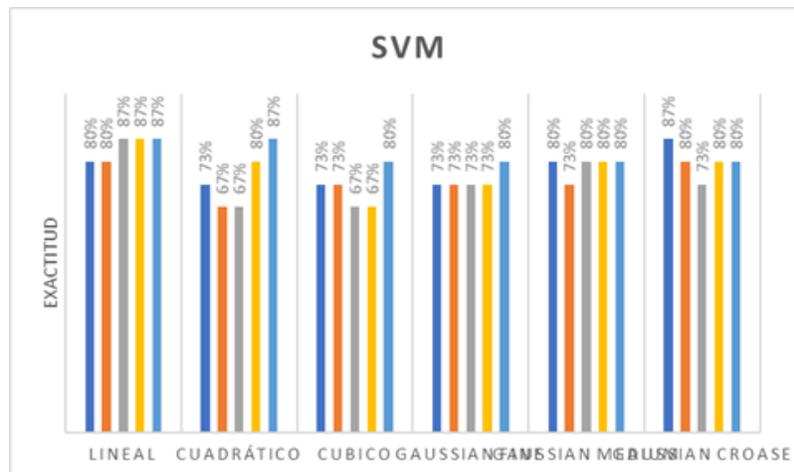


Figura 9. Exactitud para SVM entrenamiento datos clínicos.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Para la K vecinos más cercanos, se utilizó con fine, médium, croase, cosine, cubico y Weighted, los resultados se muestran en la Figura 10.

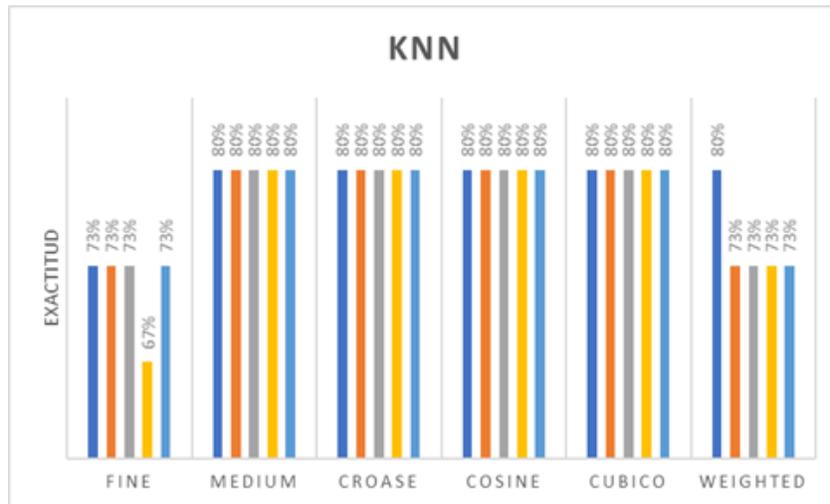


Figura 10. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.

Para las Redes Neuronales se utilizó Levenberg-Marquardt, Regularización Bayesiana y escala de gradiente conjugado, como algoritmos de entrenamiento, los resultados se muestran en la Figura 11.

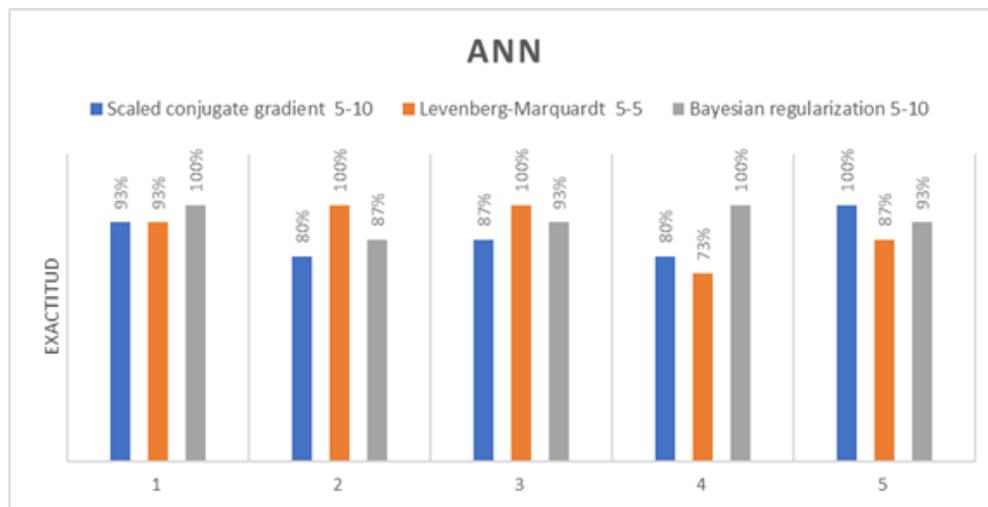


Figura 11. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.

Se promediaron las precisiones de clasificación de las cinco corridas realizadas y se tomó los valores más altos para evaluarlos con los conjuntos de prueba, arrojando 34.7% para K-means, 84,0% para SVM lineal, 80,0 % para KNN Medium y 94.6% para ANN con regularización Bayesiana (BR) y 5 neuronas en la capa oculta 1 y 10 neuronas en la capa oculta 2, de los cuales se descarta el K-means por ser implementado como punto de comparación para evaluar la separabilidad de las características. Seguido a esto se realizó la etapa de prueba con el 20% de los datos (n=5), la comparación de la exactitud de las técnicas evaluadas se muestra en la figura 12.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

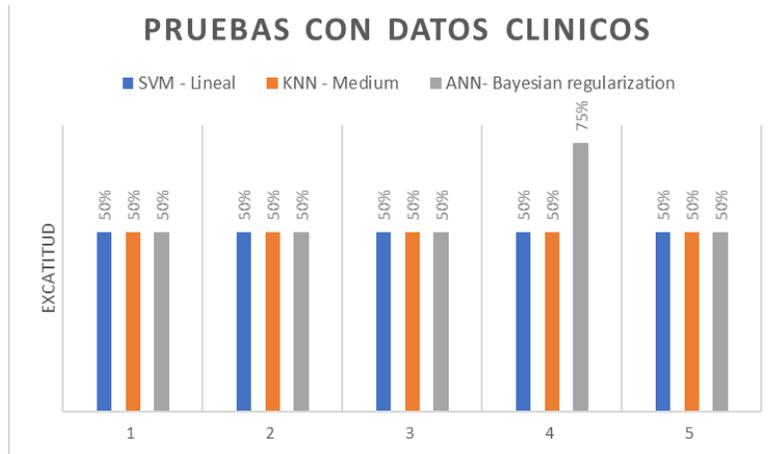


Figura 12. Exactitud para SVM(Lineal) KNN(Medium) ANN(BR) en prueba con datos clínicos.

Los resultados de prueba para el mejor clasificador del SVM, KNN y ANN de los factores clínicos fue con redes neuronales con el desempeño con una exactitud del 55%.

4.2. Desempeño de la evaluación del riesgo de caída basada en datos del CoP

Los resultados del entrenamiento (n=14) para los modelos de clasificación con datos del CoP, para el K-means con k=3 se muestran en la Figura 13.

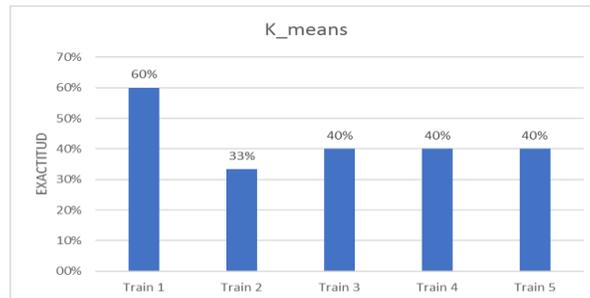


Figura 13. Exactitud para K-means entrenamiento datos de CoP.

Para la Máquina de Soporte Vectorial, se utilizó el kernel lineal, cuadrático, cubico, gaussiano fine, gaussiano médium y gaussiano croase, los resultados se muestran en la Figura 14.

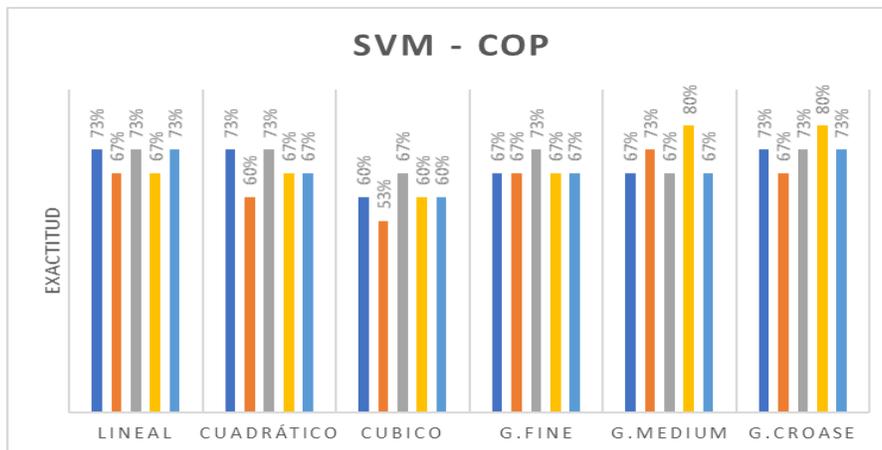


Figura 14. Exactitud para SVM entrenamiento datos de CoP.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Para la K vecinos más cercanos, se utilizó con fine, médium, croase, cosine, cubico y Weighted, los resultados se muestran en la Figura 15.

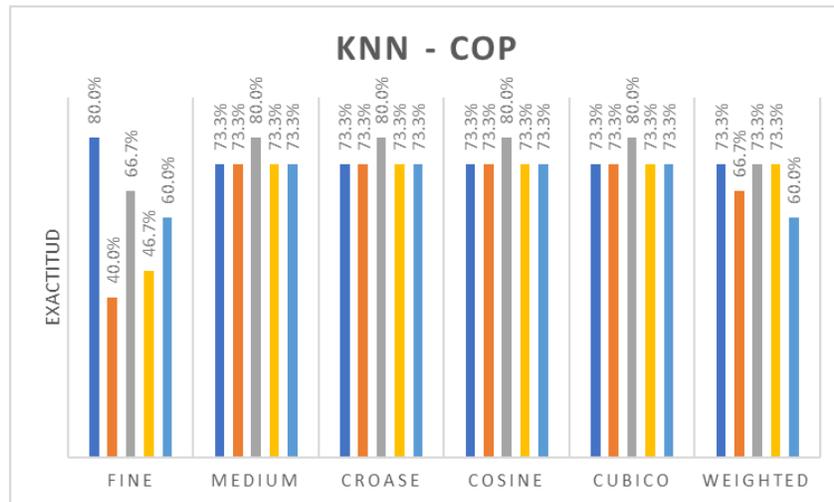


Figura 15. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.

Para las Redes Neuronales se utilizó Levenberg-Marquardt, Regularización Bayesiana y escala de gradiente conjugado, como algoritmos de entrenamiento, los resultados se muestran en la Figura 16.

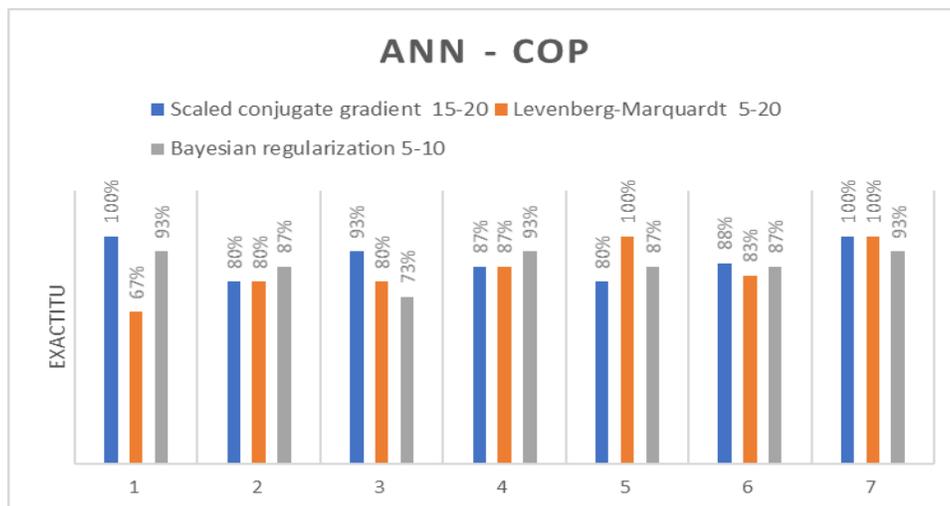


Figura 16. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.

Se promediaron las precisiones de clasificación de las cinco corridas realizadas y se tomó los valores más altos, arrojando 42.7% para K-means, 73.30% para SVM Gaussiano Croase, 74,4 % para KNN Medium y 88.0% para ANN con la escala de gradiente conjugado (GC) y 15 neuronas en la capa oculta 1 y 20 neuronas en la capa 2 oculta, de los cuales se descarta el K-means. se realizó la etapa de prueba con el 20% de los datos (n=5), la comparación de la exactitud de las técnicas evaluadas se muestra en la figura 17.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

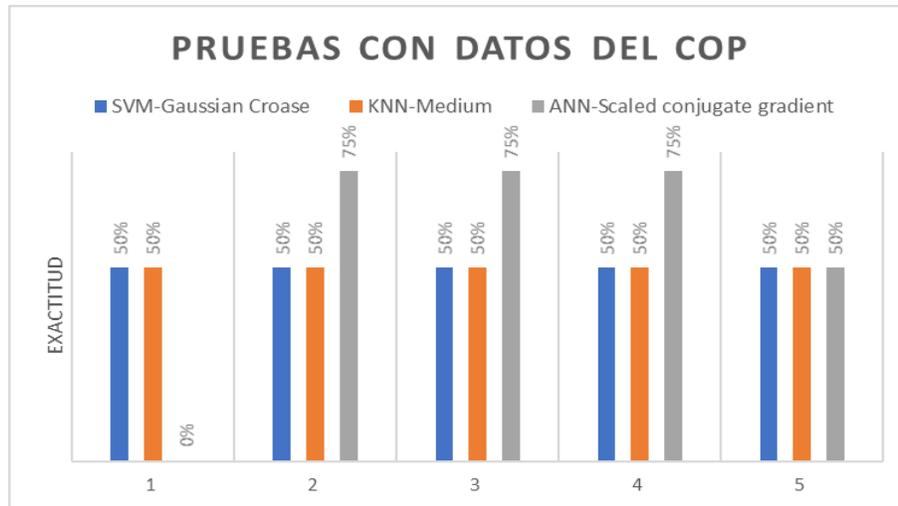


Figura 17. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN(Medium) ANN(GC) en prueba con datos de CoP.

Los resultados de prueba para datos del CoP entrega un 50% de exactitud para el SVM y KNN y un 55% para las ANN.

4.3. Evaluación del riesgo de caída basada en sensores inerciales

Los resultados del entrenamiento (n=44) para los modelos de clasificación con datos del iTUG, para el K-means con k=3 se muestran en la Figura 18.

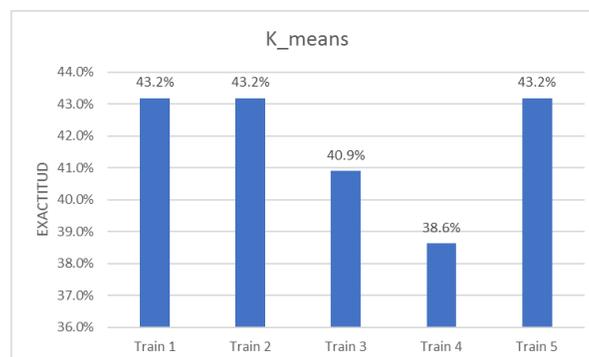


Figura 18. Exactitud para K-means entrenamiento datos de iTUG.

Para la Máquina de Soporte Vectorial, se utilizó el kernel lineal, cuadrático, cubico, gaussiano fine, gaussiano médium y gaussiano croase, los resultados se muestran en la Figura 19. Para la K vecinos más cercanos, se utilizó con fine, médium, croase, cosine, cubico y Weighted, los resultados se muestran en la Figura 20. Para las Redes Neuronales se utilizó Levenberg-Marquardt, Regularización Bayesiana y escala de gradiente conjugado, como algoritmos de entrenamiento, los resultados se muestran en la Figura 21.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

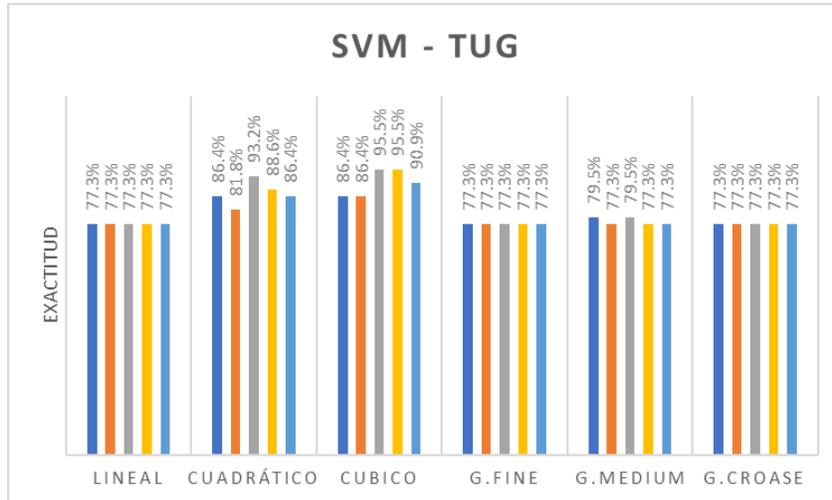


Figura 19. Exactitud para SVM entrenamiento datos de iTUG.

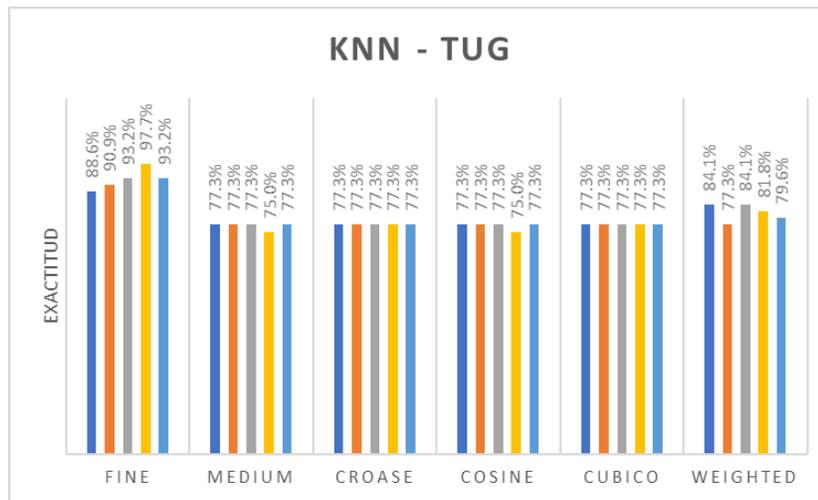


Figura 20. Exactitud para KNN entrenamiento datos iTUG.

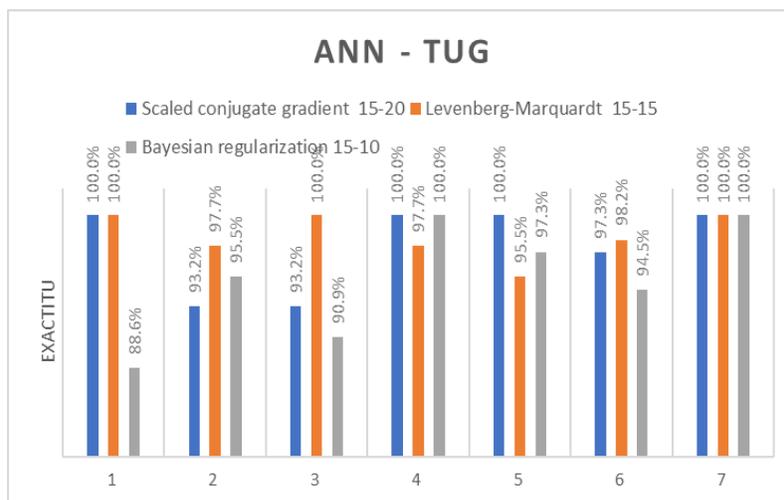


Figura 21. Exactitud para ANN entrenamiento datos iTUG.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Se promediaron las precisiones de clasificación de las cinco corridas realizadas y se tomó los valores más altos, arrojando 41.8% para K-means, 90.9% para SVM Cubico, 92.7 % para KNN Fine y 98.2% para ANN con Levenberg-Marguart (LM) y 15 neuronas en la capa oculta 1 y 15 neuronas en la capa oculta, de los cuales se descarta el K-means. Se realizó la etapa de prueba con el 20% de los datos, la comparación de la exactitud de las técnicas evaluados se muestra en la figura 22.

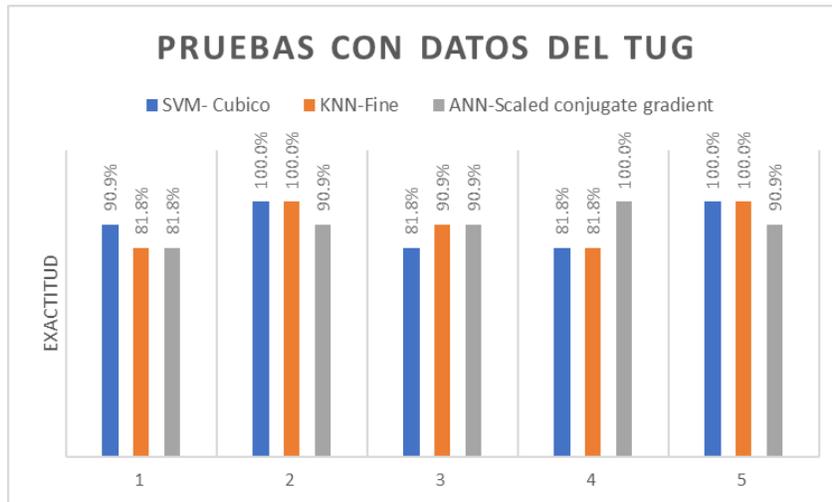


Figura 22. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN (Medium) ANN (GC) en prueba con datos de iTUG.

Los resultados de prueba (n=11) para datos del iTUG entrega un 90.9% de exactitud para el SVM, KNN y ANN.

4.4. Evaluación del riesgo de caída basada en factores combinados

Los resultados del entrenamiento (n=44) para los modelos de clasificación con datos del CoP, para el K-means con k=3 se muestran en la Figura 23.

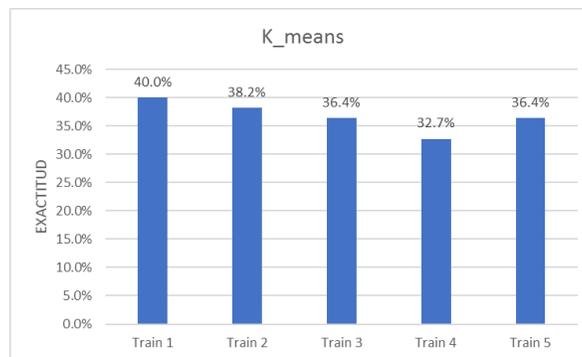


Figura 23. Exactitud para K-means entrenamiento datos de CoP.

Para la Máquina de Soporte Vectorial, se utilizó el kernel lineal, cuadrático, cubico, gaussiano fine, gaussiano médium y gaussiano croase, los resultados se muestran en la Figura 24. Para la K vecinos más cercanos, se utilizó con fine, médium, croase, cosine, cubico y Weighted, los resultados se muestran en la Figura 25. Para las Redes Neuronales se utilizó Levenberg-Marquardt, Regularización Bayesiana y escala de gradiente conjugado, como algoritmos de entrenamiento, los resultados se muestran en la Figura 26.

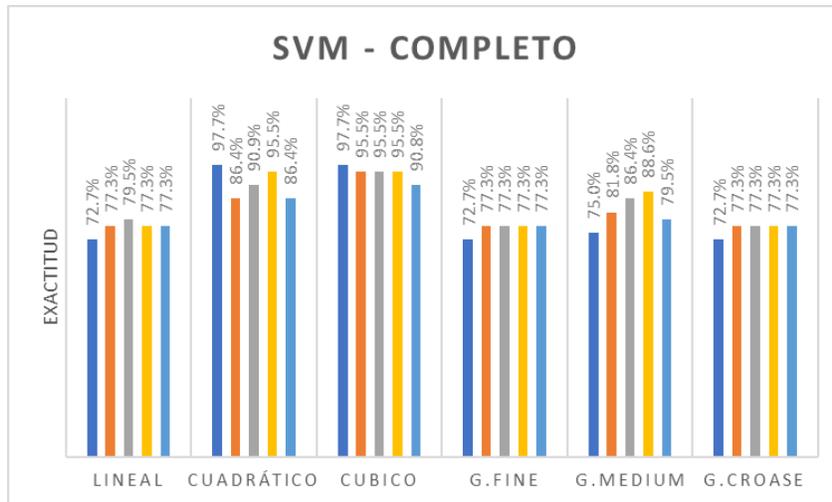


Figura 24. Exactitud para SVM entrenamiento datos de CoP.

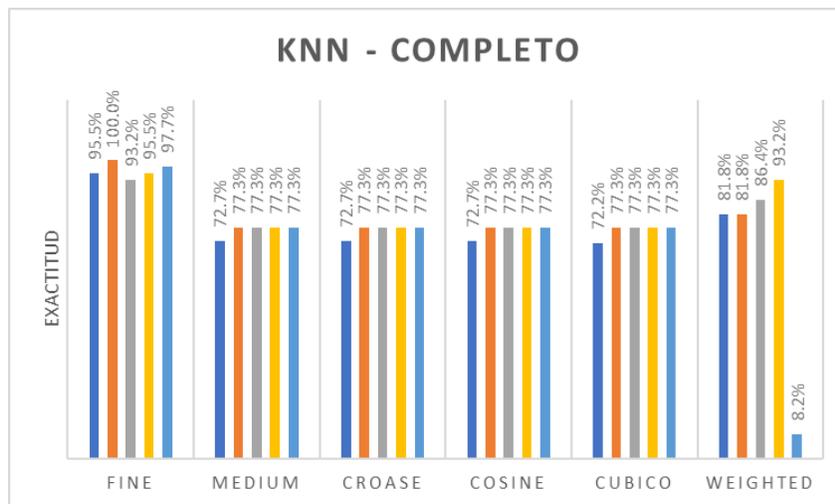


Figura 25. Exactitud para KNN entrenamiento datos clínicos.

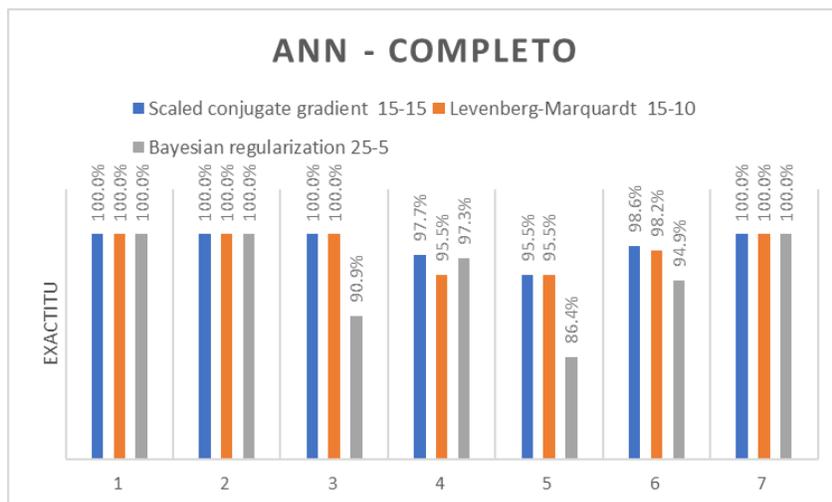


Figura 26. Exactitud para ANN entrenamiento datos clínicos.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Se promediaron las precisiones de clasificación de las cinco corridas realizadas y se tomaron los valores más altos, arrojando 36.7% para K-means, 95.0% para SVM Cubico, 96,4 % para KNN Fine y 98.6% para ANN con la escala de gradiente conjugado (GC) y 15 neuronas en la capa oculta 1 y 15 neuronas en la capa oculta, de los cuales se descarta el K-means y se realizó la etapa de prueba con el 20% de los datos, la comparación de la exactitud de las técnicas evaluadas se muestra en la figura 27.

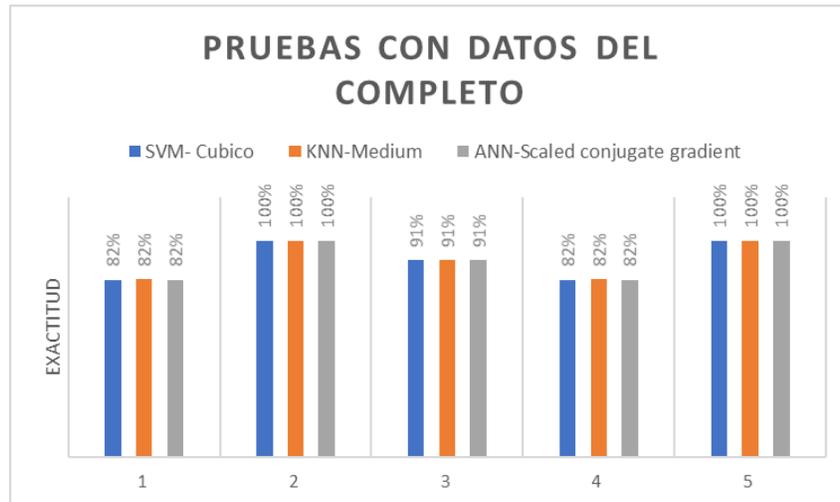


Figura 27. Exactitud para SVM (Gauss Croase) KNN(Medium) ANN(GC) en prueba con datos de CoP.

Los resultados de prueba (n=11) para datos del completos entrega un 90.9% de exactitud para el SVM, KNN y ANN.

5. Discusión y análisis

En este estudio se pretende clasificar el riesgo de caída de los adultos mayores con neuropatía diabética periférica, basados en la combinación de datos clínicos, oscilación del CoP y de la prueba iTUG, utilizando técnicas de inteligencia artificial básicas.

Se evaluaron 4 técnicas básicas de reconocimiento de patrones, la primera técnica el K-means se utilizó de forma exploratoria, buscando agrupar los datos en función de su similitud según los grupos de interés, esta técnica obtuvo el desempeño más bajo de las 4 evaluadas, lo que muestra que es necesario usar un espacio de segmentación no lineal para separar las características por lo que se hace necesario y pertinente la implementación de las demás técnicas evaluadas.

Por otro lado, los resultados obtenidos usando únicamente los factores de riesgo clínicos fueron del 50% para SVM y KNN y un 55% de precisión con ANN, al momento de clasificar a los participantes en el conjunto de prueba; estos resultados son semejantes con los informados por Greene et al [16] con un modelo de clasificador basado en los factores de riesgo clínicos utilizado con un 68.84% de precisión (Tabla 7), teniendo en cuenta que el número de participantes del estudio fue de 293. Reafirmando lo encontrado por C. Shirota et al [56], en donde concluyen que en individuos con trastornos neurológicos o con problemas de movilidad, las mediciones precisas y efectivas de la marcha y el equilibrio son difíciles de lograr utilizando solo herramientas de evaluación clínica.

Tabla 7. Comparación de datos médicos y Greene et al [16]

n	19	748
Acc (%)	55	67.13
Sens (%)	100	76.66
Spec (%)	0	40.4

Los resultados de la segunda prueba, en donde se evaluó la oscilación del CoP fueron del: 50% para SVM y KNN y un 55% con ANN, al momento de clasificar a los participantes; aunque los resultados en entrenamiento fueron del 88%, en las pruebas tuvieron una reducción significativa a lo esperado, esto puede ser a que el número de datos disponibles para la prueba ($n = 4$) no son suficientes. Como muestra Saripalle et al [62] con modelos de clasificación que utilizan conjuntos de características del CoP informando una precisión del 93.5% para el conjunto de prueba, ya que en este estudio es obtuvo un buen valor de la precisión en entrenamiento, el rendimiento del modelo de clasificación podría aumentar utilizando datos de más participantes. También se compararon los resultados obtenidos de la oscilación del CoP, con el estudio realizado con anterioridad en el Footlab por Toloza [20] el cual utilizó el mismo protocolo e instrumentación, este protocolo fue modificado en la duración del tiempo de la prueba de 60 segundos a 10 segundos por motivos de seguridad del paciente y evitar alguna caída. En los resultados encontrados en este estudio se obtuvo una diferencia significativa en la oscilación AP con ojos abiertos, por otro lado, los resultados reportados por Toloza reporto una diferencia significativa en la oscilación AP tanto para condiciones de ojos abiertos y ojos cerrados, esto puede ser debido al cambio en tiempo de la prueba. Pero aun así estos datos son lo suficientemente confiables para poder hacer una clasificación, por lo cual se recomienda hacer el aumento de la duración de la prueba a 30 segundos, para confirmar la oscilación AP en las dos condiciones y también observar que cambio tienen en las técnicas de clasificación, siempre y cuando no represente un riesgo para el participante.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Los resultados de la tercera prueba presentados en la tabla 8, que fue realizada mediante el iTUG arrojan en la evaluación de los clasificadores una precisión del 90.9%, sensibilidad del 80% y especificidad del 100% para las tres técnicas SVM, KNN y ANN, al momento de clasificar a los participantes; el estudio realizado por Greene *et al*, S. J. [16] el cual implemento la prueba iTUG con un total de 292 participantes, arrojo una precisión del 73,63%, sensibilidad del 72,82 y especificidad del 74.02%, adicionalmente, un estudio realizado por Howcroft [61], donde obtienen una precisión del 77,8%, sensibilidad del 57,1 y especificidad del 91.7%, con un total de 75 participantes y realizando métodos de evaluación clínica como single task y dual task, para evaluar el riesgo de caída en adultos mayores.

Tabla 8. Comparación datos iTUG, Greene *et al* [16] y Howcroft [61]

n	55	75	292
Acc (%)	90.9	77.8	73.63
Sens (%)	80	57.1	72.82
Spec (%)	100	91.7	74.02

Teniendo en cuenta lo encontrado anteriormente mencionado y que existen estudios como los realizados por Godfrey *et al* [57], Montesinos *et al* [16], recomienda el uso de sistemas portátiles basados en sensores inerciales, por su fiabilidad en la evaluación del equilibrio y las características de la marcha. Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que la combinación de la prueba iTUG, junto a sensores inerciales y el uso de técnicas de reconocimiento de patrones sugieren un buen desempeño en el área de evaluación del riesgo de caídas.

La combinación de los datos de evaluación de riesgo de caída basado en sensores inerciales, datos del CoP y datos del factor de riesgo de caída clínico, condujo a una precisión de clasificación del 90.9%, los cuales fueron iguales para los datos de la prueba iTUG, esto puede obedecer al que se necesitan un mayor número de datos para poder hacer una distinción significativa entre los métodos de iTUG y con la totalidad de los datos, ya que en el estudio realizado por Greene *et al*, S. J. [16] la precisión de los datos fue mejor al momento de realizar la clasificación con el conjunto de datos clínicos y de iTUG, que de forma separada. En la tabla 9 se muestra el resultado de las pruebas sobre las 4 técnicas utilizadas.

Tabla 9. Comparación de la precisión de todas las técnicas con el conjunto de prueba.

	Clínico	CoP	iTUG	Completo
K-means	34.7%	42.7%	41.8%	36.7%
SVM	50.0%	50.0%	90.9%	90.9%
KNN	50.0%	50.0%	90.9%	90.9%
ANN	55.0%	55.0%	90.9%	90.9%

Con base en la comparación mostrada anteriormente es recomendable la continuación de este estudio, para poder comparar los resultados con un número mayor de participantes y poder establecer una mejor diferenciación del rendimiento de las técnicas de iTUG y datos completos. Ya que, si se observá los resultados de entrenamiento Tabla 10, se puede ver una ligera diferencia entre iTUG y datos completos, la cual podría ser aclarada con más datos. Por lo cual, se podría sugerir que se puede lograr una mejor evaluación del riesgo de caídas mediante la combinación de todos los factores evaluados. Debido a que en la literatura se ha observado diferentes modelos de clasificadores y estos ofrecen información potencialmente complementaria sobre los patrones que deben clasificarse, y estos pueden aprovecharse para mejorar el rendimiento general como lo sugiere Greene *et al*.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Tabla 10. Comparación de la presión de todas las técnicas con el conjunto de entrenamiento.

	Clínico	CoP	iTUG	Completo
K-means	34.7%	42.7%	41.8%	36.7%
SVM	84.0%	73.3%	95.5%	95.0%
KNN	80.0%	74.7%	92.7%	96.4%
ANN	94.6%	88.0%	96.4%	98.6%

Una limitación encontrada en el estudio es el número reducido de datos con los que se cuentan, la cual se puede superar realizando recolección de datos con nuevos participantes, aun así, fue posible realizar interpretaciones acerca del comportamiento de las variables, técnicas de clasificación y sus posibles mejoras.

En resumen, hemos introducido un método automático para evaluar el riesgo de caídas utilizando factores de riesgo clínicos estándar, de la oscilación del CoP y parámetros de sensores inerciales para la clasificación en evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con DPN. La identificación del riesgo de caída es la primera etapa para reducir la incidencia de estas, por lo que, la implementación de métodos de evaluación del riesgo de caídas tiene el potencial de prevenirlas mediante una intervención temprana, con cual se podrían reducir los costos de atención médica y mejorar la calidad de vida a las personas con alto riesgo, en este caso en una población con DPN que tienen un alto riesgo y que ha sido poco estudiada. Con lo cual, se permitiría una intervención más oportuna, como fisioterapia, cambios en los medicamentos, terapia ocupacional y una exploración más profunda de los factores específicos que conducen al riesgo a nivel individual.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Se contesta afirmativamente a la hipótesis de evaluar el riesgo de caída en adultos mayores con DPN mediante la implementación de un sistema predictivo a partir de la información clínica de las directrices AGS/BGS, la oscilación del CoP en reposo y la prueba TUG con el uso de los sensores inerciales, por lo cual, este estudio tiene el potencial para implementarse en estudios con poblaciones más grandes.

La evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con DPN mediante la combinación de información de factores clínicos, del CoP y la prueba iTUG, entregó resultados en precisión de un 90.9%, sensibilidad del 80% y especificidad del 100% en los métodos de SVM, KNN y ANN, siendo un buen resultado para la evaluación de este método comparado con lo reportado con autores con Greene y Howcroft. Aun así, no es posible definir si existe una diferencia significativa entre los métodos de iTUG y con los datos completos, ya que el conjunto de prueba (n=11) no es suficiente para diferenciarlos. Pero revisando los resultados de entrenamiento se podría sugerir la posibilidad de un mejor rendimiento de los datos completos comparados con la prueba iTUG, lo cual debe ser confirmada mediante la implementación del estudio con un número mayor de participantes.

También por medio de este estudio, se pudo corroborar que los factores clínicos no son suficientes para hacer una predicción del riesgo del nivel de caída, ya que, por si sola la evaluación clínica está enfocada a poder categorizar a las personas ya después de que ha ocurrido un incidente. Aun así, aportan información importante para la evaluación, la cual junto al CoP y los sensores demuestran un buen desempeño. Además, esta prueba es rápida y la instrumentación es fácil y no requiere ningún técnico especializado para realizarla.

Por otro lado, el CoP tiene un aporte en la evaluación estática ya que como se comprobó la oscilación del AP es significativa entre los controles y las personas con riesgo de caída, por lo cual es sistema de clasificación puede utilizar este parámetro como característica diferenciadora, al momento de evaluar problemas en el equilibrio, por lo tanto, esta es una medición vital al momento de poder evaluar el riesgo de caída en la población con DPN.

La implementación de la prueba iTUG, es una técnica portátil que puede capturar y analizar datos cuantitativos de movilidad de manera eficiente, y que podría mejorar la evaluación del riesgo de caída, obteniendo mediciones cuantitativas y confiables a partir de la medición de la velocidad angular y la aceleración lineal de los segmentos estudiados del cuerpo, a partir de la extracción de características simples como el promedio, mediana, media, desviación estándar y valor RMS, que tuvieron un mejor resultado que utilizando la FFT.

La implementación de la evaluación del riesgo de caída en personas con DPN permitiría concentrar los esfuerzos médicos en un examen más detallado, para identificar cuáles son los factores puntuales que están conduciendo a un nivel de riesgo alto, para una posterior implementación de intervenciones correctivas apropiadas por parte del médico y así poder disminuir el riesgo asociado a la persona. Esto debería conducir a una mejor calidad de la atención y una reducción en los costos hospitalarios asociados, debido a un menor número de ingresos y lesiones reducidas debido a las caídas. Además, es importante resaltar que este es uno de los estudios iniciales que han sido realizados para la evaluación de caídas en adultos mayores, en poblaciones con DPN en Colombia.

Como trabajo futuro se propone, evaluar la viabilidad de medir la oscilación del CoP con los sensores inerciales y establecer el tiempo mínimo para adquirir datos significativos, sin aumentar el riesgo de caída del participante. Además, se recomienda la utilización de sensores que se puedan manejar

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

desde una aplicación unificada y de forma independiente para agilizar la captura y preprocesamiento de los datos.

Posteriormente, se buscaría reducir el número de sensores para pasar de 3 sensores a un solo sensor, el cual podría estar ubicado en la parte baja posterior de la cintura por su cercanía al centro de masa, con lo cual se puede pensar en la posibilidad de utilizar una aplicación móvil en un Smart phone para la evaluación del riesgo de caída. Esta aplicación evaluaría constantemente la marcha y el riesgo de caída desde el mismo celular de la persona, y en el momento de detectar un riesgo alto se realizaría una alerta mediante una retroalimentación o bio-feedback y evitar la caída.

7. Referencias

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

- [1] International Diabetes Federation, *Diabetes Atlas De La FID*. (8. ed., repr. ed.) Brussels: International Diabetes Federation, Executive Office, 2017.
- [2] M. Young *et al*, "A multicentre study of the prevalence of diabetic peripheral neuropathy in the United Kingdom hospital clinic population," *Diabetologia*, vol. 36, (2), pp. 150-154, 1993. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8458529>. DOI: 10.1007/BF00400697.
- [3] A. E. Shehab Mahmoud and E. M. Salah, "Ankle Dorsiflexors Strength Improves Balance Performance in Elderly: A Correlational Study," *European Journal of General Medicine*, vol. 11, (2), pp. 60-65, 2014.
- [4] H. (. Resnick HE) *et al*, "Diabetes, peripheral, neuropathy, and old age disability," *Muscle Nerve*, vol. 25, (1), pp. 43-50, 2002. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000172928500008&lang=es&site=eds-live>.
- [5] S. I. Lin *et al*, "Association between sensorimotor function and forward reach in patients with diabetes," *Gait Posture*, vol. 32, pp. 581-585, 2010. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0966636210002304&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.08.006.
- [6] S. J. Brown *et al*, "Diabetic Peripheral Neuropath Compromises Balance During Daily Activities," *Diabetes Care*, vol. 38, (6), pp. 1116, 2015.
- [7] A. Champagne *et al*, "Balance, Falls-Related Self-Efficacy, and Psychological Factors amongst Older Women with Chronic Low Back Pain: A Preliminary Case-Control Study," *Rehabilitation Research & Practice*, pp. 1-8, 2012.
- [8] I. Ferreira *et al*, "Older individuals with diabetes have an increased risk of recurrent falls: analysis of potential mediating factors: the Longitudinal Ageing Study Amsterdam," *Age Ageing*, vol. 41; 86, (3; 1), pp. 365; 38, 2001. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000303335000014&lang=es&site=eds-live>
<http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000166580100007&lang=es&site=eds-live>.
- [9] W. Ekström *et al*, "Health related quality of life, reoperation rate and function in patients with diabetes mellitus and hip fracture—A 2 year follow-up study," *Injury*, vol. 44, pp. 769-775, 2013. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0020138312004536&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1016/j.injury.2012.10.003.
- [10] P. R. Cavanagh *et al*, "Problems with gait and posture in neuropathic patients with insulin-dependent diabetes mellitus," *Diabet. Med.*, vol. 9, (5), pp. 469-474, 1992. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=mnh&AN=1611836&lang=es&site=eds-live>.
- [11] X. Pan and J. Bai, "Balance training in the intervention of fall risk in elderly with diabetic peripheral neuropathy: A review," *International Journal of Nursing Sciences*, vol. 1, (4), pp. 441-445, 2014. Available: <https://doi.org/article/f03e77da2ca6417d9d8ddef0b580871f>. DOI: 10.1016/j.ijnss.2014.09.001.
- [12] P. W. Duncan *et al*, "Functional reach: a new clinical measure of balance," *Journals of Gerontology*, (6), pp. 192, 1990. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edsgao&AN=edsgcl.9346640&lang=es&site=eds-live>.
- [13] M. M. Vaz *et al*, "Original article: Postural Control and Functional Strength in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus With and Without Peripheral Neuropathy," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 94, pp. 2465-2470, 2013. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0003999313004589&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.06.007.
- [14] P. Diane and R. Sandra, "The Timed "Up & Go": A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 39, (2), pp. 142-148, 1991. Available: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>. DOI: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x.
- [15] A. Lorena Cerda, "Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, (2), pp. 265-275, 2014. . DOI: 10.1016/S0716-8640(14)70037-9.
- [16] B. R. Greene, S. J. Redmond and B. Caulfield, "Fall risk assessment through automatic combination of clinical fall risk factors and body-worn sensor data," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, pp. 1, 2016. . DOI: 10.1109/JBHI.2016.2539098.
- [17] L. Montesinos, R. Castaldo and L. Pecchia, "Wearable Inertial Sensors for Fall Risk Assessment and Prediction in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Tnsre*, vol. PP, (99), pp. 1, Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8263142>. DOI: 10.1109/TNSRE.2017.2771383.
- [18] J. Howcroft, J. Kofman and E. D. Lemaire, "Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors," *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol. 10, (1), pp. 91, 2013. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23927446>. DOI: 10.1186/1743-0003-10-91.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

- [19] Barry R. Greene *et al*, "Evaluation of Falls Risk in Community- Dwelling Older Adults Using Body-Worn Sensors," 2012. . DOI: 10.1159/000337259.
- [20] Daissy Carola Toloza Cano, "Evaluation of the anteroposterior center of pressure in peripheral diabetic neuropathy," *Vision Electronica*, 2017. Available: <https://doi.org/10.14483/22484728.12571>.
- [21] Alberti, K G M M *et al*, *International Textbook of Diabetes Mellitus*. 20154th edition Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=963797&lang=es&site=eds-live>.
- [22] P. Aschner, "Epidemiología de la diabetes en Colombia," *Avances En Diabetología*, vol. 26, (2), pp. 95-100, 2010. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1134323010620054>. DOI: 10.1016/S1134-3230(10)62005-4.
- [23] U. R. ACHARYA *et al*, "Diabetes Mellitus: Enquiry into its medical aspects and bioengineering of its monitoring and regulation." *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, vol. 12, (1), 2012. . DOI: 10.1142/S0219519412004417.
- [24] M. Akbari *et al*, "Do diabetic neuropathy patients benefit from balance training?" *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 49, (2), pp. 333, 2012. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22773533>. DOI: 10.1682/JRRD.2010.10.0197.
- [25] S. Wild *et al*, "Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030," *Diabetes Care*, vol. 27, (5), pp. 1047-1053, 2004. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15111519>. DOI: 10.2337/diacare.27.5.1047.
- [26] A. J. M. Boulton *et al*, "Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association," *Diabetes Care*, vol. 28, (4), pp. 956-962, 2005. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15793206>. DOI: 10.2337/diacare.28.4.956.
- [27] F. B. Horak, R. Dickstein and R. J. Peterka, "Diabetic neuropathy and surface sway-referencing disrupt somatosensory information for postural stability in stance," *Somatosensory & Motor Research*, vol. 19, (4), pp. 316-326, 2002. Available: <http://www.ingentaconnect.com/content/apl/csmr/2002/00000019/00000004/art00007>. DOI: 10.1080/0899022021000037782.
- [28] G. Deli *et al*, "Diabetic Neuropathies: Diagnosis and Management," *Neuroendocrinology*, vol. 98, (4), pp. 267-280, 2014. Available: <http://www.karger.com/Article/Fulltext/358728>. DOI: 10.1159/000358728.
- [29] P. K. Rani *et al*, "Prevalence and risk factors for severity of diabetic neuropathy in type 2 diabetes mellitus," *Indian Journal of Medical Sciences*, vol. 64, (2), pp. 51, 2010. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22466493>. DOI: 10.4103/0019-5359.94400.
- [30] M. Botas Velasco *et al*, "Actualización en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neuropatía diabética periférica," *Angiología*, 2016. . DOI: 10.1016/j.angio.2016.06.005.
- [31] C. Currie *et al*, "The health-related utility and health-related quality of life of hospital-treated subjects with type 1 or type 2 diabetes with particular reference to differing severity of peripheral neuropathy," *Diabetologia*, vol. 49, (10), pp. 2272-2280, 2006. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16944094>. DOI: 10.1007/s00125-006-0380-7.
- [32] N. Deshpande, P. Hewston and A. Aldred, "Sensory Functions, Balance, and Mobility in Older Adults With Type 2 Diabetes Without Overt Diabetic Peripheral Neuropathy: A Brief Report," *Journal of Applied Gerontology*, vol. 36, (8), pp. 1032-1044, 2017. Available: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0733464815602341>. DOI: 10.1177/0733464815602341.
- [33] Bogdan Timar *et al*, "The Impact of Diabetic Neuropathy on Balance and on the Risk of Falls in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Cross-Sectional Study," *PLoS One*, vol. 11, (4), pp. e0154654, 2016. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27119372>. DOI: 10.1371/journal.pone.0154654.
- [34] C. Melian, "Balance disorders in elderly population," *Faso*, 2016.
- [35] P. Hewston MScOT and N. Deshpande PhD, "Falls and Balance Impairments in Older Adults with Type 2 Diabetes: Thinking Beyond Diabetic Peripheral Neuropathy," *Canadian Journal of Diabetes*, vol. 40, (1), pp. 6-9, 2015. Available: <https://www.clinicalkey.es/playcontent/1-s2.0-S1499267115005614>. DOI: 10.1016/j.jcjd.2015.08.005.
- [36] G. L. Y. Cheing *et al*, "Do the biomechanical properties of the ankle-foot complex influence postural control for people with Type 2 diabetes?" *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, vol. 28, (1), pp. 88-92, 2013. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23021727>. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2012.09.001.
- [37] Lim, Kil-Byung, MD, PhD *et al*, "Comparison of Balance Ability Between Patients With Type 2 Diabetes and With and Without Peripheral Neuropathy," *Pm&r*, vol. 6, (3), pp. 209-214, 2014. Available: <https://www.clinicalkey.es/playcontent/1-s2.0-S1934148213011854>. DOI: 10.1016/j.pmrj.2013.11.007.
- [38] T. Ghanavati *et al*, "Functional balance in elderly with diabetic neuropathy," *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 96, (1), pp. 24, 2012. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168822711006048>. DOI: 10.1016/j.diabres.2011.10.041.
- [39] S. J. Brown *et al*, "Diabetic Peripheral Neuropath Compromises Balance During Daily Activities," *Diabetes Care*, vol. 38; 19, (6; 4), pp. 326, 2002. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=102807018&lang=es&site=eds-live>

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

- <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000180830800007&lang=es&site=eds-live>.
- [40] Fortaleza, Ana Claudia de Souza *et al*, "Postural control and functional balance in individuals with diabetic peripheral neuropathy," *Revista Brasileira De Cineantropometria & Desempenho Humano*, vol. 15, (3), pp. 305-314, 2013. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-00372013000300005.
- [41] L. Allet *et al*, "The gait and balance of patients with diabetes can be improved: a randomised controlled trial," *Diabetologia*, vol. 53, (3), pp. 458-466, 2010. Available: <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:repository.ubn.ru.nl:2066%2F87828>. DOI: 10.1007/s00125-009-1592-4.
- [42] L. Paul *et al*, "The effect of a cognitive or motor task on gait parameters of diabetic patients, with and without neuropathy," *Diabet. Med.*, vol. 26, (3), pp. 234-239, 2009. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-62449107216&doi=10.1111%2Fj.1464-5491.2008.02655.x&partnerID=40&md5=e3b6ad3a125e155b0a870b22a6d0f3b1>. DOI: 10.1111/j.1464-5491.2008.02655.x.
- [43] L. Alle *et al*, "Gait characteristics of diabetic patients: A systematic review," *Diabetes Metab. Res. Rev.*, vol. 24, (3), pp. 173-191, 2008. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-40749136948&doi=10.1002%2Fdmrr.809&partnerID=40&md5=528ab4f715d0f16ca7c263a10db543f0>. DOI: 10.1002/dmrr.809.
- [44] J. K. Richardson *et al*, "A comparison of gait characteristics between older women with and without peripheral neuropathy in standard and challenging environments," *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 52, (9), pp. 1532-1537, 2004. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-4444234482&doi=10.1111%2Fj.1532-5415.2004.52418.x&partnerID=40&md5=52e0efb3cef49849ce3937c1f427207d>. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2004.52418.x.
- [45] M. Wuehr *et al*, "Sensory loss and walking speed related factors for gait alterations in patients with peripheral neuropathy," *Gait Posture*, vol. 39, (3), pp. 852-858, 2014. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84895872315&doi=10.1016%2Fj.gaitpost.2013.11.013&partnerID=40&md5=81fe6fe72e5476c10e8336e2c13275933>. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.11.013.
- [46] A. Cimbiz and O. Kahir, "Original article: Evaluation of balance and physical fitness in diabetic neuropathic patients," *J. Diabetes Complications.*, vol. 19, pp. 160-164, 2005. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S105687270400077&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1016/j.jdiacom.2004.06.005.
- [47] S. D. Jernigan *et al*, "Diagnostic accuracy of fall risk assessment tools in people with diabetic peripheral neuropathy," *Phys. Ther.*, vol. 92, (11), pp. 1461-1470, 2012. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=mnh&AN=22836004&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.2522/ptj.20120070.
- [48] J. K. Richardson, D. Sandman and S. Vela, "Articles: A focused exercise regimen improves clinical measures of balance in patients with peripheral neuropathy," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 82, pp. 205-209, 2001. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S000399930130326X&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1053/apmr.2001.19742.
- [49] B. Najafi, D. G. Armstrong and J. Mohler, "Novel Wearable Technology for Assessing Spontaneous Daily Physical Activity and Risk of Falling in Older Adults with Diabetes," *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 7, (5), pp. 1147-1160, 2013. Available: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/193229681300700507>. DOI: 10.1177/193229681300700507.
- [50] K. M. Sibley *et al*, "Review Article (Meta-Analyses): Using the Systems Framework for Postural Control to Analyze the Components of Balance Evaluated in Standardized Balance Measures: A Scoping Review," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 96, pp. 132.e29, 2015. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0003999314005048&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1016/j.apmr.2014.06.021.
- [51] V. Scott *et al*, "Multifactorial and functional mobility assessment tools for fall risk among older adults in community, home-support, long-term and acute care settings," *Age Ageing*, vol. 36, (2), pp. 130-139, 2007. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17293604>. DOI: 10.1093/ageing/afl165.
- [52] Stephen D. Jernigan *et al*, "Diagnostic Accuracy of Fall Risk Assessment Tools in People With Diabetic Peripheral Neuropathy," *Physical Therapy*, vol. 92, (11), pp. 1461-1470, 2012. Available: <http://ptjournal.apta.org/content/92/11/1461.abstract>. DOI: 10.2522/ptj.20120070.
- [53] Jennifer Howcroft *et al*, "Elderly fall risk prediction using static posturography," *PLoS One*, vol. 12, (2), pp. e0172398, 2017. Available: <https://search.proquest.com/docview/1870633110>. DOI: 10.1371/journal.pone.0172398.
- [54] Fabiola, Spolaor Zimi, Sawacha Gabriella, Guarneri Silvia, Del Din Angelo, Avogaro Claudio, Cobelli, "Altered EMG patterns in diabetic neuropathic and not neuropathic patients during step ascending and descending," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, (10), pp. 125-126, 2016. Available: <http://lib.cqvip.com/qk/85265X/201710/72747566504849554948484955.html>.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

- [55] C. Agurto *et al*, "Characterization of diabetic peripheral neuropathy in infrared video sequences using independent component analysis," in 2015, Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7324362>. DOI: 10.1109/MLSP.2015.7324362.
- [56] C. Shirota *et al*, "Robot-supported assessment of balance in standing and walking," *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol. 14, (1), 2017. Available: <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:ris.utwente.nl:publications%2F8428e1c7-4b03-4088-adb9-a100fd4a4fd8>.
- [57] A. Godfrey *et al*, "iCap: Instrumented assessment of physical capability," *Maturitas*, vol. 82, (1), pp. 116-122, 2015. Available: <https://www.clinicalkey.es/playcontent/1-s2.0-S0378512215006404>. DOI: 10.1016/j.maturitas.2015.04.003.
- [58] T. Shany *et al*, "Review: Are we stumbling in our quest to find the best predictor? Over-optimism in sensor-based models for predicting falls in older adults," *Healthcare Technology Letters*, vol. 2, (4), pp. 79-88, 2015. Available: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-84978730603&lang=es&site=eds-live>. DOI: 10.1049/htl.2015.0019.
- [59] A. G. Society *et al*, "Guideline for the Prevention of Falls in Older Persons," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 49, (5), pp. 664-672, 2001. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1532-5415.2001.49115.x>. DOI: 10.1046/j.1532-5415.2001.49115.x.
- [60] Zequera, Martha Perdomo, Oscar Wilches, Carlos Vizcaya, Pedro, "Pilot study: Assessing repeatability of the EcoWalk - platform resistive pressure sensors to measure," 2013. *Journal of Physics: Conference Series J. Phys.: Conf. Ser.* 450 012029
- [61] J. Howcroft, J. Kofman and E. D. Lemaire, "Prospective Fall-Risk Prediction Models for Older Adults Based on Wearable Sensors," *Tnsre*, vol. 25, (10), pp. 1812-1820, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7886263>. DOI: 10.1109/TNSRE.2017.2687100.
- [62] S. K. Saripalle *et al*, "Machine learning methods for credibility assessment of interviewees based on posturographic data," in Aug 2015, Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7319932>. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7319932.

8. Anexos

8.1. Anexo 1: Consentimiento informado.



Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

Título de proyecto: *“Evaluación del desplazamiento del centro de presión en personas diabéticas tipo 2 con más de 10 años de diagnóstico que presenten neuropatía diabética periférica”.*

Título de estudio: *“Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con neuropatía diabética periférica”.*

Investigadores: Martha Zequera Diaz Profesora titular del departamento de ingeniería electrónica, Jhonathan Sora Cárdenas Estudiante de Maestría en Bioingeniería.

Estimado(a) Señor/Señora:

La justificación y los objetivos de la investigación:

Las caídas tienen consecuencias significativas para los adultos mayores como son: Dolor, aumento en las caídas recurrentes, alta incidencia de fracturas, movilidad reducida, pérdida de confianza y dependencia, lo que disminuye la calidad de vida del adulto mayor y puede ser una causa de aumento de la mortalidad. Teniendo en cuenta que las personas con neuropatía diabética periférica tienen más probabilidades de caerse y de informar una lesión en comparación con adultos mayores sanos, la evaluación del riesgo de caída en esta población específica es una herramienta de prevención importante y efectiva, que ayuda a determinar las intervenciones más apropiadas para reducir o eliminar las caídas.

Por lo anteriormente dicho, el objetivo de esta investigación es: *“Evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con neuropatía diabética periférica mediante la implementación de un sistema predictivo a partir de la información clínica, la oscilación del Centro de Presión (CoP) en reposo y la prueba Timed Up and Go (TUG) con el uso de los sensores inerciales.”* Este estudio hace parte del proyecto de investigación: *“Evaluación del desplazamiento del centro de presión en personas diabéticas tipo 2 con más de 10 años de diagnóstico que presenten neuropatía diabética periférica”.*

Procedimientos:

Si Usted acepta participar en el estudio, el procedimiento será el siguiente:

El procedimiento se realizará en el laboratorio de Footlab ubicado en el centro Ático de la Pontificia Universidad Javeriana, serán realizadas por personal capacitado y consta de dos etapas, la primera etapa se realiza un estudio clínico y en la segunda etapa se realiza el estudio de la oscilación del Centro de Presión (CoP) en reposo y la prueba Timed Up and Go, estos estudios tendrán una duración aproximada de 15 y 45 minutos respectivamente.

En la primera etapa se realiza por parte del médico encargado efectuar un examen físico general junto a una encuesta de riesgo de caídas realizada por parte del investigador. La segunda etapa se realizará utilizando tres unidades de medición inercial (sensores) que se fijan uno en la parte inferior de la espalda y los otros dos sensores son ubicados en el punto medio frontal de la pierna izquierda y derecha. Posteriormente, estará sentado en una silla, la persona debe ponerse de pie, caminar recta por 3 metros a su ritmo normal, darse la vuelta, caminar hacia la silla y sentarse nuevamente. Continuando con la adquisición del centro de presión que se realizará mediante la plataforma de presión. En donde, se procede a estar sobre la plataforma con los pies colocados uno al lado del otro a un ancho de los hombros y los brazos en una posición relajada en los costados del cuerpo, durante 60 segundos con los ojos abiertos y otros 60 segundos con los ojos cerrados, cada ejercicio se realizará 3 veces con un descanso de 1 minuto entre las pruebas.

Molestias o riesgos esperados:

Los riesgos potenciales que implican su participación en este estudio son mínimos. Si alguna de las preguntas o procedimiento le hicieran sentir un poco incomodo(a), tiene el derecho de no responderla o de no realizarlo.

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

En el caso de daños que le afecten directamente, causados por la investigación, usted tendrá la disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización a que legalmente tendría derecho.

Beneficios:

Usted no recibirá un beneficio directo por su participación en el estudio y tampoco implicará algún costo para usted.

Confidencialidad:

Toda la información que Usted nos proporcione para el estudio será de carácter estrictamente confidencial, será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto y no estará disponible para ningún otro propósito. Usted quedará identificado(a) con un número y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos, pero se presentarán de tal manera que no podrá ser identificado(a).

Participación Voluntaria/Retiro:

Tenga en cuenta que la participación en este estudio es absolutamente voluntaria, y además usted tiene la libertad de retirar su consentimiento en cualquier momento y dejar de participar en el estudio sin que por ello se creen perjuicios.

Tenga en cuenta que nosotros tenemos el compromiso de proporcionarle información actualizada obtenida durante el estudio, aunque ésta pudiera afectar la voluntad del sujeto para continuar participando.

Cualquier pregunta, comentario o preocupación con respecto al estudio se puede comunicar con investigador (Martha Zequera Díaz) que estará a su disposición para que estas dudas sean aclaradas, al siguiente número de teléfono 300 2777261 en un horario de lunes a viernes de 8 am a 12 pm y de 2 a 5 pm, o al correo electrónico mzequera@javeriana.edu.co.

Si usted acepta participar en el estudio, le entregaremos una copia de este documento que le pedimos sea tan amable de firmar.

FORMATO DE CONSENTIMIENTO ESCRITO E INFORMADO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES CON NEUROPATÍA DIABÉTICA PERIFÉRICA.

Todos los participantes llenarán el siguiente formato, previo a la realización de los procedimientos. Esta es una forma de aceptación legal para participar en la investigación, que usted puede libremente firmar si está de acuerdo en los siguientes aspectos:

Yo _____, con Cédula de Ciudadanía
Número _____ de _____. Para los efectos legales que

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

corresponden, declaro que he recibido información amplia y suficiente sobre el estudio, titulado: “Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con neuropatía diabética periférica” en el cual se pretende “*Evaluar el riesgo de caídas en adultos mayores con neuropatía diabética periférica mediante la implementación de un sistema predictivo a partir la de la información clínica, la oscilación del CoP en reposo y la prueba TUG con el uso de los sensores inerciales*”. Se me ha explicado que me realizaran: *El procedimiento que se realizará en el laboratorio de Footlab ubicado en el centro Ático de la Pontificia Universidad Javeriana, serán realizadas por personal capacitado y tendrá una duración aproximada de 60 minutos. Este consta de tres etapas, la primera es realizar por parte del médico encargado realiza un examen físico junto a una encuesta. La segunda etapa se realizará utilizando tres unidades de medición inercial (sensores) que se fijan, uno en la parte inferior de la espalda y los otros dos sensores son ubicados en el punto medio frontal de la pierna izquierda y derecha. Posteriormente, estará sentado en una silla, la persona debe ponerse de pie, caminar recta por 3 metros a su ritmo normal, darse la vuelta, caminar hacia la silla y sentarse nuevamente. La tercera etapa es la adquisición del centro de presión que se realizará mediante la plataforma de presión. En donde, se procede a estar sobre la plataforma de fuerza con los pies colocados uno al lado del otro a un ancho de los hombros y los brazos se colocaron en una posición relajada en los costados del cuerpo, durante 60 segundos con los ojos abiertos y otros 60 segundos con los ojos cerrados.* Igualmente conozco que los costos adicionales que demanda la investigación corren a cargo del investigador. Conozco los compromisos que adquiero con el proyecto y que en todo momento seré libre de continuar o de retirarme, con la única condición de informar oportunamente mi deseo, al investigador(es).

Yo _____, con Cédula de Ciudadanía Número _____ de _____, asumo el papel de testigo presencial del presente consentimiento informado en la ciudad de Bogotá, el día _____ mes _____ del año _____. (Testigo No.1)

Yo _____, con Cédula de Ciudadanía Número _____ de _____, asumo el papel de testigo presencial del presente consentimiento informado en la ciudad de Bogotá, el día _____ mes _____ del año _____. (Testigo No.2)

Acepto voluntariamente participar sin más beneficios que los pactados previamente.

Nombre _____

Cédula de Ciudadanía _____

Firma _____

Evaluación del riesgo de caídas en adultos mayores con Neuropatía Diabética Periférica

8.2. Anexo 2: Protocolo toma de datos clínicos.

Pontificia Universidad Javeriana Maestría Bioingeniería Encuesta grupo de Riesgo - Datos clínicos																															
ID participante:	_____																														
Fecha y hora:	_____																														
Investigadores:	_____																														
Investigadores:	_____																														
Investigadores:	_____																														
Riesgo de caída:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Preguntas de Detección Riesgo de Caída</th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>¿Ha tenido dos (2) o más caídas en los últimos doce (12) meses?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Presento una caída aguda?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Presenta dificultad para caminar o mantener el equilibrio?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;"><i>Cualquier respuesta positiva a las preguntas de detección coloca a la persona en un grupo de alto riesgo que merece una evaluación adicional.</i></p>			Preguntas de Detección Riesgo de Caída	SI	NO	NS/NR	¿Ha tenido dos (2) o más caídas en los últimos doce (12) meses?				¿Presento una caída aguda?				¿Presenta dificultad para caminar o mantener el equilibrio?															
Preguntas de Detección Riesgo de Caída	SI	NO	NS/NR																												
¿Ha tenido dos (2) o más caídas en los últimos doce (12) meses?																															
¿Presento una caída aguda?																															
¿Presenta dificultad para caminar o mantener el equilibrio?																															
	Riesgo (Alto/Bajo) _____																														
Datos Clínicos																															
Edad(años):	_____																														
Estatura (cm):	_____																														
Punto medial de la tibia (cm):	_____																														
Altura Pelvis (cm):	_____																														
Peso (Kg):	_____																														
Genero:	_____																														
Polifarmacia:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>¿Actualmente se encuentra tomando medicamentos?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Estos medicamentos afectan el equilibrio del participante?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Presencia de polifarmacia?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Cuales: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>				SI	NO	NS/NR	¿Actualmente se encuentra tomando medicamentos?				¿Estos medicamentos afectan el equilibrio del participante?				¿Presencia de polifarmacia?															
	SI	NO	NS/NR																												
¿Actualmente se encuentra tomando medicamentos?																															
¿Estos medicamentos afectan el equilibrio del participante?																															
¿Presencia de polifarmacia?																															
Tensión:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Valor de la toma de tensión minuto 0</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Valor de la toma de tensión minuto 1</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Valor de la toma de tensión minuto 3</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presencia de hipotensión ortostática</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Valor de la toma de tensión minuto 0	_____			Valor de la toma de tensión minuto 1	_____			Valor de la toma de tensión minuto 3	_____				SI	NO	NS/NR	Presencia de hipotensión ortostática											
Valor de la toma de tensión minuto 0	_____																														
Valor de la toma de tensión minuto 1	_____																														
Valor de la toma de tensión minuto 3	_____																														
	SI	NO	NS/NR																												
Presencia de hipotensión ortostática																															
Problemas de visión:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>¿Presenta problemas de visión no corregidos?</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Cuáles?</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </tbody> </table>				SI	NO	NS/NR	¿Presenta problemas de visión no corregidos?				¿Cuáles?	_____																		
	SI	NO	NS/NR																												
¿Presenta problemas de visión no corregidos?																															
¿Cuáles?	_____																														
Diabetes y DPN:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presenta diabetes</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Duración (Años)</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">NO</th> <th style="text-align: center;">NS/NR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presenta DPN</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Puntuación pie izquierdo y derecho</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Duración (Años)</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </tbody> </table>				SI	NO	NS/NR	Presenta diabetes				Duración (Años)	_____				SI	NO	NS/NR	Presenta DPN				Puntuación pie izquierdo y derecho	_____			Duración (Años)	_____		
	SI	NO	NS/NR																												
Presenta diabetes																															
Duración (Años)	_____																														
	SI	NO	NS/NR																												
Presenta DPN																															
Puntuación pie izquierdo y derecho	_____																														
Duración (Años)	_____																														
Observaciones examen medico:	_____ _____ _____ _____ _____																														
Firma del Médico:	_____																														
Nombre del Médico:	_____																														