



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**ESTRUCTURACIÓN DE DATOS INERCIALES SEGÚN LOS PRINCIPIOS FAIR PARA LA
EVALUACIÓN FUNCIONAL EN EL ENVEJECIMIENTO**

**PREVIO A LA INVESTIDURA DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN BIOMÉDICA**

SUSTENTADO POR:

22041056 FÁTIMA ALEJANDRA ALVARADO RODRÍGUEZ

ASESOR: KARLA MIRIAM REYES LEIVA Y ANTONIO COBO SÁNCHEZ DE ROJAS

SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.

MARZO, 2025

DEDICATORIA

A mis papitos, mi mayor ejemplo a seguir. Gracias por creer en mí, incluso más de lo que yo misma lo hice. Por darme la oportunidad de soñar, pero consciente de que ningún sueño es tan grande si se trabaja por él. Por enseñarme a mantener los pies en la tierra para ser fuerte y valiente, pero también para impulsarme a volar, aunque eso signifique estar a miles de kilómetros y no vernos durante meses. Gracias por sostenerme cuando no podía, levantarme cuando me caí e impulsarme cuando me faltaban fuerzas.

Espero que algún día se sientan tan orgullosos de ser mis papás como yo lo estoy de ser su hija. A mi bojitito, por reconstruir lo que se rompió en mi con un "te amo mana". A ese niño en dibujo técnico quien, por ayudarme a terminar una pieza, se convirtió en una fundamental en mi vida. A mis butuquitos,

Gorda y Enano.

Gracias por tanto. Los amo, son la salsita de mi pollo chuco.

AGRADECIMIENTOS

A Diosito, gracias por guiarme y protegerme en esta aventura por descubrir mi camino. Pese a que no siempre tomo las mejores decisiones, me has permitido no solo soñar, sino vivir más de lo que algún día imaginé. Gracias por permitirme crecer en un hogar lleno de amor incondicional, donde todo es posible y si se cuestiona, se hace con miedo. Pero, sobre todo, gracias por permitirme ser, estar y demostrarle a esa fatimita de 5 años que todo es posible, por más loco que parezca; desde soñar con graduarse de “la unisunidad” hasta irse al otro lado del mundo a estudiar.

A mi madre, Brenda Rodríguez, una mujer inexplicable: amiga leal, esposa devota, hermana e hija amorosa; simplemente de otro planeta. Gracias por darle color a mis días grises con tu sonrisa, paz a mi corazón con un abrazo y tranquilidad a mi mente con tus palabras. Admiro tu capacidad para identificar que algo está mal con una sola mirada y esa habilidad de cambiarlo encontrando el lado positivo de la situación, habilidad que dije odiar, pero siempre he admirado.

A mi padre, Christian Alvarado, mi mayor ejemplo de resiliencia, perseverancia y bondad. Siempre he juzgado tu “corazón de pollo”, pero esa es tu esencia, una coraza fuerte pero dulce y noble por dentro. Gracias por siempre priorizar mis necesidades, aun si para ello debías trabajar en turnos de quince horas por semanas, lo que no te impidió estar siempre presente. Gracias terroncito de azúcar, hasta el infinito y más allá.

A mi hermanito, Eitan Isaac, por doblegar mis dolencias con su hermoso corazón y enseñarme a perdonar. A mi hermanote, Nixon Rodríguez, por desde siempre enseñarme “lo difícil que es la vida” y ser uno de mis ejemplos a seguir. Gracias por siempre motivarme a luchar por mis sueños y celebrar mis logros con un “era tu responsabilidad”. Te quiero, cactus favorito. A mis tías, Tania y Mariely Rodríguez, por enseñarme a ser fuerte, valiente y siempre motivarme a valerme por mí misma.

A Gloria Emilia Zapata Cáceres, mi chicle, mejor amiga y compañera, por reír y llorar conmigo desde el colegio hasta el otro lado del mundo. Por tu cariño, confianza, paciencia y creer en mí. Gracias a Dios hemos tenido la oportunidad de vivir un poco de lo que siempre soñamos y espero podamos continuar así.

A Carlos Aldair Chávez Quiñonez, compañero, amigo y mi persona especial, gracias por tu dedicación, paciencia para estudiar y explicarme por horas, por desvelarte a lo largo de estos años y ser mi constante apoyo. Admiro tu capacidad de ver lo bueno en lo malo, y estaré infinitamente agradecida por lo que has

hecho por mí no solo en este proyecto y estos años de carrera, sino también por enseñarme a ser una mejor persona.

A la Dra. Karla Miriam Reyes Leiva, por marcar la vida de esa niña recién egresada del colegio en una charla de Biomédica. Su apoyo, paciencia, confianza y motivación han sido esenciales en este camino.

Al Dr. Antonio Cobo Sánchez de Rojas, quien me dio la oportunidad de vivir uno de mis más grandes sueños. Siempre estaré agradecida por abrirme las puertas del Centro de Tecnología Biomédica (CTB), por su constante apoyo, paciencia y todos los conocimientos compartidos. De igual forma a todo el equipo del laboratorio de envejecimiento por su colaboración, amabilidad, cariño y por los jueves de compartir tapas.

A la ingeniera Reyna Valle, por desarrollar en mí autoexigencia y formarme no solo como profesional sino también a nivel interpersonal. Gracias por siempre, pese a tener la agenda ajustada, encontrar un hueco para resolver las crisis existenciales de las tres mosqueteras.

A docentes que llevaré por siempre con mucho cariño en mi corazón; Ingeniero Orlando Aguiluz, por enseñarme a dar más de lo que creo ser posible, por regalarme su amistad y siempre aconsejarme con mucho cariño. Ingeniero Stefany García, por su dedicación y paciencia al explicarme 10 veces lo mismo si fuese necesario, por siempre estar dispuesta a ayudar en lo que sea a la hora que sea.

A Nataly Carias, amiga desde primer año a quien admiro mucho por su perseverancia, dedicación y sentido del humor. Valeria Herrera, compañera de carrera y de crisis existenciales. Infinitas gracias a ambas por su constante apoyo, por siempre exigirme más y apoyarme en cada decisión, incluso las erróneas.

A mis compañeros Jorge, Héctor, Willian, Gavarrete, Majo, Cristóbal, José, Carlitos, Jeni, Diego, gracias por las risas, lágrimas y desvelos compartidos a lo largo de estos años.

Un pedacito de este logro es para cada uno de los antes mencionados, consciente que en determinados momentos de esta trayectoria fui una persona difícil de acompañar, gracias por quedarse. De igual forma agradezco a todos aquellos que aportaron con un consejo, una palabra de aliento o buenos deseos, este es uno de muchos logros si Dios lo permite.

EPÍGRAFE

“Sventálzalo y te pertenecerá”.

- CHRISTIAN ALVARADO

RESUMEN EJECUTIVO

La fragilidad y el deterioro funcional aumentaron significativamente el riesgo de dependencia, caídas y disminución de la calidad de vida en adultos mayores. Frente a este desafío, las pruebas funcionales como el SPPB y el programa de ejercicios VIVIFRAIL han permitido evaluar y monitorizar de manera objetiva la capacidad funcional en esta población. Considerando lo anterior, se desarrolló una metodología para la estructuración y FAIRificación del dataset MOTIVA, compuesto por datos inerciales recopilados durante la realización de dichas pruebas. Los principios FAIR sirvieron como base para garantizar que los datos pudieran ser localizados, accedidos, integrados y reutilizados de manera efectiva. La metodología incluyó la curación semántica, la creación de un esquema de metadatos siguiendo el estándar DDI, la incorporación de licencias y la implementación de mecanismos de conectividad. La evaluación se realizó mediante un enfoque híbrido, combinando la herramienta automática FAIR-Checker que reflejó múltiples limitaciones, y un código propio, desarrollado a partir de métricas FAIR logrando un cumplimiento global del 80%. Este resultado permitió proponer acciones de mejora dirigidas al CTB, orientadas a facilitar la futura publicación del recurso en e-cienciaDatos. Asimismo, se aportó una pauta metodológica para la estructuración y FAIRificación de *datasets* inerciales, que podrá servir de referencia para futuras investigaciones que utilicen este tipo de datos, más allá del caso específico de la evaluación funcional o del envejecimiento saludable.

Palabras clave —ciencia abierta, envejecimiento saludable, fragilidad, IMUs, principios FAIR, SPPB.

ABSTRACT

Frailty and functional decline have been shown to significantly increase the risk of dependency, falls, and reduced quality of life among older adults. To address this challenge, functional tests such as the *Short Physical Performance Battery* (SPPB) and the VIVIFRAIL exercise program have provided objective means to assess and monitor functional capacity in this population. To address this challenge, a methodology was developed for the structuring and FAIRification of the MOTIVA dataset, which consists of inertial data collected during the performance of these assessments. The FAIR principles served as a foundation to ensure that the data could be effectively found, accessed, integrated, and reused. The methodology involved semantic curation, the design of a metadata schema following the DDI standard, the incorporation of licenses, and the implementation of interoperability mechanisms. The evaluation was conducted through a hybrid approach, combining the FAIR-Checker automatic tool—which revealed multiple limitations—with custom-developed code based on FAIR metrics, achieving an overall compliance of 80%. This outcome enabled the proposal of improvement actions to the CTB, aimed at facilitating the future publication of the resource in e-cienciaDatos. Moreover, this work provides a methodological guideline for the structuring and FAIRification of inertial *datasets*, which could serve as a reference for future research involving this type of data, beyond the specific case of functional assessment or healthy aging.

Keywords — open science, healthy aging, frailty, IMUs, FAIR principles, SPPB.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ESTADO DEL ARTE	3
2.1.	ANTECEDENTES	4
2.1.1.	Perspectiva global del envejecimiento saludable	6
2.1.2.	Envejecimiento Saludable	7
2.1.2.1	Capacidad funcional e intrínseca	9
2.1.2.2	Fragilidad.....	10
2.1.3.	Sensores inerciales en la evaluación funcional	12
2.1.3.1.	Aplicaciones en pruebas funcionales	14
2.1.4.	Origen de proyecto	15
2.1.5.	Ciencia Abierta	18
2.1.5.1.	Acceso abierto (Open Access)	20
2.1.6.	Gestión de datos	21
2.1.7.	Principios FAIR	23
2.1.7.1.	Métricas Validación de FAIRness	28
2.1.7.2.	Herramientas de validación FAIRness	32
2.2.	PROBLEMÁTICA	38
2.3.	IMAGEN INTEGRADORA	41
2.4.	CUADRO DE LIMITACIONES	43
III.	OBJETIVOS	46
3. 1.	OBJETIVO GENERAL	46
3. 2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	46
IV.	MÉTODOS	47
4. 1.	ENFOQUE	47
4. 2.	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS APLICADOS	48
4. 3.	POBLACIÓN	50
4. 4.	MÉTODO DE ESTUDIO	51
4. 5.	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN	57
4. 6.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	60
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	62
5.1.	Resultados de análisis inicial de datos	62

5.2.	Organización final del dataset	63
5.3.	Implementación Guía de Depósito de Datos y Creación de README e- cienciaDatos	63
5.2.1.	Estructura del README.txt	64
5.4.	Metadatos	65
5.4.1.	Estructura y formato de los metadatos	65
5.4.2.	Generación Automatizada de los Metadatos	69
5.4.3.	Licencia y Accesibilidad de los Metadatos	70
5.5.	Evaluación FAIRness – Comparación entre Métodos de Evaluación	71
5.5.1.	Localizable (Findable).....	72
5.5.2.	Accesibilidad (Accesible).....	73
5.5.3.	Interoperabilidad (Interoperable).....	73
5.5.4.	Reutilización (Reusable).....	74
5.6.	Análisis de las Gráficas de Evaluación FAIR	75
5.6.1.	Análisis de la Evaluación en FAIR-Checker.....	75
5.6.2.	Análisis de la Evaluación en el Validador basado en Código	77
VI.	DISCUSIÓN	86
VII.	CONCLUSIONES	89
7. 1.	CONCLUSIÓN GENERAL	89
7. 2.	CONCLUSIONES PARCIALES	89
VIII.	LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	91
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
X.	ANEXOS	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Población mayor a nivel mundial.....	4
Ilustración 2 Cascada de disminución funcional.....	8
Ilustración 3 Referencia para señales registradas en el centro de masa para los tres ejes.....	13
Ilustración 4 Rueda D (Robustas) VIVIFRAIL.....	16
Ilustración 5 Diseño final de dispositivo MOTIVA.....	17
Ilustración 6 Identificación de sensores para prueba SPPB - MOTIVA.....	18
Ilustración 7 Métrica F1 de Data Object Assessment Metric.....	29
Ilustración 8 Métricas FAIREST.....	30
Ilustración 9 Imagen integradora.....	42
Ilustración 10 SPPB Prueba de velocidad de la marcha en 3 metros.....	51
Ilustración 11 Formato nombre archivos IMUs.....	52
Ilustración 12 Formato nombre archivos "app".....	53
Ilustración 13 Estructura dataset MOTIVA.....	56
Ilustración 14 Método de estudio.....	57
Ilustración 16 Cronograma de actividades primer parcial.....	60
Ilustración 17 Cronograma de actividades segundo parcial.....	61
Ilustración 18 Antes de la corrección del encabezado de los archivos.....	62
Ilustración 19 Proceso de corrección de los archivos.....	62
Ilustración 20 Ejemplo de archivo corregido.....	63
Ilustración 21 Después de la corrección de los archivos.....	63
Ilustración 22 Estructura Final de Dataset.....	64
Ilustración 23 Especificación DDI Codebook 2.5.....	66
Ilustración 24 Sección de descripción del Estudio (stdyDscr).....	66
Ilustración 25 Sección de accesibilidad a los datos.....	67
Ilustración 26 Sección de información de sensores.....	67
Ilustración 27 Documentación de variables.....	68
Ilustración 28 Descripción de evento.....	69
Ilustración 29 Sección de contenido del dataset.....	69
Ilustración 30 Sección de Licencia.....	70
Ilustración 31 Sección de Autenticación del Dataset.....	70
Ilustración 32 Sección de acceso al dataset.....	71
Ilustración 33 Gráfica de evaluación de FAIRChecker.....	78
Ilustración 34 Resultados antes de corrección en principio F (Localizable).....	77
Ilustración 35 Gráfica de resultados antes de corrección en principio F (Localizable).....	78
Ilustración 36 Resultados después de corrección en principio F (Localizable).....	79
Ilustración 37 Resultados después de corrección en principio F (Localizable).....	79
Ilustración 38 Resultados antes de corrección en principio A (Accesible).....	80
Ilustración 39 Resultados antes de corrección en principio A (Accesible).....	83
Ilustración 40 Resultados después de corrección en principio A (Accesible).....	81

Ilustración 41 Resultados después de corrección en principio A (Accesible).....	82
Ilustración 42 Resultados antes de corrección en principio I (Interoperable).....	83
Ilustración 43 Resultados después de corrección en principio I (Interoperable).....	83
Ilustración 44 Resultados después de corrección en principio I (Interoperable).....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Subprincipios F (Localizable).....	24
Tabla 2 Subprincipios A (Accesibles).....	25
Tabla 3 Subprincipio I (Interoperable).....	27
Tabla 4 Subprincipio R (Reutilizable).....	28
Tabla 5 Herramientas Automáticas Validación FAIRness.....	32
Tabla 6 Herramientas Manuales Validación FAIRness.....	34
Tabla 7 Herramientas Híbridas Validación FAIRness.....	35
Tabla 8 Limitaciones.....	43
Tabla 9 Ubicación de IMUs.....	52
Tabla 10 Validación F (Localizable).....	73
Tabla 11 Validación A (Accesible).....	73
Tabla 12 Validación I (Interoperable).....	74
Tabla 13 Validación R (Reutilización).....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Dispositivo Final MOTIVA.....	115
Anexo 2 Rueda B VIVIFRAIL (Frágiles).....	115
Anexo 3 Rueda C VIVIFRAIL (Pre-Frágiles).....	116

LISTA DE SIGLAS

CTB	Centro de Tecnología Biomédica
DDI	Iniciativa para la Documentación de Datos (Data Documentation Initiative)
DMP	Plan de Gestión de Datos (Data Management Plan)
FAIR	Localizable, Accesible, Interoperable y Reutilizable (<i>Findable, Accessible, Interoperable, Reusable</i>)
FAIRness	Grado de cumplimiento de los principios FAIR
IMUs	Unidades de Medición Inercial (Inertial Measurement Units)
INE	Instituto Nacional de Estadística (España)
IoT	Internet de las Cosas (Internet of Things)
MOTIVA	Ecosistema Computacional que combina Apoyo Emocional y Evaluación Funcional
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SPPB	Batería Corta de Desempeño Físico (Short Physical Performance Battery)
TUG	Prueba de levantarse y caminar (Test Timed Up and Go)
UUID	Universally Unique Identifier
VIVIFRAIL	Programa de ejercicio multicomponente para la prevención de la fragilidad

GLOSARIO

Capacidad funcional – “Habilidad de una persona para realizar actividades de la vida diaria, lo que incluye tanto actividades básicas como complejas, crucial para mantener la independencia y la calidad de vida en la vejez” (Calvo Higuera & Gómez Carrillo, 2023).

Capacidad Intrínseca – “Combinación de capacidades físicas, mentales y psicosociales que permiten a una persona llevar a cabo sus actividades cotidianas y participar en la vida social” (Ribera Casado, 2021).

Ciencia Abierta – “Es un movimiento que busca transformar la manera en que se lleva a cabo la investigación científica, promoviendo la transparencia, la colaboración y la accesibilidad del conocimiento” (Abadal, 2021).

Curación semántica – “Proceso de seleccionar, organizar y presentar información de manera que el significado subyacente de los datos sea maximizado y accesible para los usuarios” (Guallar et al., 2022).

Dataset – “Se refiere a una colección estructurada de información que se organiza de manera tal que facilita su acceso, interpretación y análisis; incluye variedad de tipos y formatos, como texto, imágenes, números, y otros elementos que pueden abarcar desde información simple hasta compleja” (Lnenicka & Komarkova, 2019).

Deterioro Funcional – “Es la disminución de la capacidad de una persona para realizar actividades de la vida diaria (AVD) de manera independiente, lo que puede incluir tareas básicas como vestirse, bañarse, comer y moverse” (Ocampo-Chaparro et al., 2021).

FAIRness – “Aplicado a los principios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) se refiere a la necesidad de garantizar que los datos científicos no solo sean accesibles y reutilizables, sino que también se manejen de manera ética y justa, promoviendo la justicia y la igualdad en el acceso a la información y los recursos de investigación” (Amdouni & Jonquet, 2022).

Fenotipo de Fried – “Desarrollado por Fried et al. (2001), este modelo identifica la fragilidad basada en cinco criterios físicos: pérdida de peso involuntaria, agotamiento, baja actividad física, velocidad de marcha lenta y debilidad” (Li et al., 2020).

FRAIL – “Escala diagnóstica utilizada para identificar individuos en riesgo de progresar hacia la discapacidad” (Bertolazzi et al., 2024).

Fragilidad – “Estado de mayor vulnerabilidad a resultados adversos debido a una reducción en la capacidad de responder a factores estresantes” (Fried et al., 2001).

Gestión de datos – “Conjunto de prácticas, procesos y tecnologías utilizados para adquirir, organizar, almacenar, proteger y utilizar datos a lo largo de su ciclo de vida” (Pérez Astonitas, 2022).

MOTIVA – “Proyecto que busca fomentar la independencia funcional de adultos mayores mediante un ecosistema computacional motivacional” Memoria Proyecto MOTIVA.

Principios FAIR – “Conjunto de directrices que buscan mejorar la gestión y el uso de datos científicos, promoviendo que estos sean *Findable*, *Accessible*, *Interoperable* y *Reusable*” (M. D. Wilkinson et al., 2016).

Sensores inerciales (IMUs) – “Dispositivos electrónicos que permiten medir la aceleración y la rotación de un objeto en movimiento, proporcionando información crucial sobre su posición y orientación en el espacio” (Dugarte Jerez et al., 2024).

SPPB – “Es una herramienta ampliamente utilizada para evaluar el rendimiento físico en adultos mayores compuesto por tres pruebas clave: equilibrio, tiempo para levantarse de una silla cinco veces, y velocidad de la marcha en un trayecto de 3 a 4 metros” (Hanada et al., 2020).

I. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento poblacional representa un desafío crítico para los sistemas de salud, especialmente en la monitorización de problemas relacionados con la movilidad y el deterioro funcional, entendido como la reducción de la capacidad de una persona para llevar a cabo actividades de la vida diaria (Ocampo-Chaparro et al., 2021). Según el informe de Perspectivas Demográficas del Envejecimiento Poblacional en la Región de las Américas emitido por la Organización Mundial de la Salud (2023) se estima que para 2030, aproximadamente 1 de cada 6 personas en el mundo tendrá más de 60 años, lo que representa un aumento significativo en la proporción de personas mayores. El Informe Mundial sobre el Envejecimiento y la Salud, emitido en octubre del 2015 por la OMS destaca que la asistencia y el cuidado de los adultos mayores deben centrarse en mantener la autonomía funcional, en lugar de tratar o curar una enfermedad

Partiendo de dicha premisa, el Laboratorio de Envejecimiento Saludable del Centro de Tecnología Biomédica (CTB) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se centra en abordar uno de los principales problemas relacionados con la salud de las personas mayores, la discapacidad, y su principal factor de riesgo, la fragilidad. Este síndrome caracterizado por una disminución de la fuerza física, resistencia y en la capacidad de los adultos mayores para enfrentar factores estresantes, incrementa considerablemente el riesgo de dependencia, hospitalización y mortalidad si no es detectado a tiempo (Fried et al., 2001). Se estima que afecta entre el 5% y el 17% de los mayores (Eidam et al., 2024), lo que destaca la necesidad de una detección temprana para facilitar intervenciones preventivas.

La evaluación temprana de esta condición es clave para prevenir la pérdida de autonomía y la aparición de discapacidades. Para ello, se han desarrollado pruebas funcionales estandarizadas, como el *Short Physical Performance Battery* (SPPB) y el programa de ejercicios multicomponente VIVIFRAIL, que permiten evaluar con mayor precisión la movilidad, el equilibrio y la fuerza muscular en personas mayores. Múltiples estudios han demostrado que una menor puntuación en SPPB está asociada con una mayor probabilidad de fragilidad y deterioro funcional (Navalón Alcañiz & Martínez González-Moro, 2020). De esta manera, surge el proyecto MOTIVA, desarrollado por el CTB en conjunto con la Fundación para la Investigación Biomédica del Hospital Universitario de Getafe (FIBHUG), en el que se han recopilado datos inerciales de adultos mayores

durante la ejecución del SPPB y los ejercicios del programa VIVIFRAIL. Pese a que estos datos tienen un gran valor investigativo, su utilidad depende en gran medida de su adecuada estructuración, documentación y alineación con los principios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*), los cuales están estrechamente relacionados con la ciencia abierta y la gestión de datos científicos.

Este estudio tiene como objetivo diseñar la estructura y el esquema de metadatos del conjunto de datos MOTIVA, el cual se titulará "Evaluación del SPPB y VIVIFRAIL mediante un sistema de captura inercial de movimiento", con el fin de que pueda ser publicado bajo criterios FAIR por el equipo del CTB en el repositorio de e-cienciaDatos. Para ello, se propondrá una metodología específica aplicable a datos inerciales, bajo los lineamientos de la ciencia abierta. Esta metodología incluirá el diseño de un esquema de metadatos, la estandarización de formatos de los archivos, la documentación detallada del contenido y la aplicación de metodologías híbridas de validación de FAIRness. Se utilizará la herramienta FAIR-Checker para el análisis automático mediante validaciones estructuradas a partir de su URL y se implementará código propio para aplicar las métricas e indicadores FAIR propuestos por Wilkinson et al. (2018), disponibles públicamente en el repositorio FAIRMetrics/Metrics. Este proceso tiene como fin velar por la correcta organización, documentación y validación del recurso, promoviendo su futura disponibilidad como un *dataset* abierto y reutilizable en contextos académicos, con potencial aplicación en inteligencia artificial, biomecánica computacional o estudios longitudinales sobre el envejecimiento.

Finalmente, cabe destacar que el presente documento se organiza en siete capítulos. El primero analiza el estado del arte, proporcionando los fundamentos teóricos y contexto del problema. El segundo capítulo detalla los objetivos. Seguidamente, en el tercero, se detalla la metodología a emplear para alcanzar dichos objetivos. Los resultados obtenidos se presentan en el cuarto capítulo y son analizados en el quinto. Finalmente, los capítulos seis y siete contienen las conclusiones, recomendaciones y propuestas para futuras investigaciones.

II. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad el envejecimiento es contemplado como uno de los temas más relevantes a nivel internacional. Esto se debe a que en las últimas cinco décadas los avances en las ciencias médicas, las acciones orientadas a la salud pública y, en general, al progreso en el desarrollo económico han permitido que la esperanza de vida se incremente (Gálvez, E., Cruz, P. y Cruz, G., 2022). Es en este escenario, que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en concordancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, ha promulgado la Década del Envejecimiento Saludable (2021-2030) (Keating et al., 2021). Cuya finalidad es hacer un llamado a todas las naciones en el mundo, para que estructuren planes y estrategias por sociedades más incluyentes y receptivas para todos los grupos de edad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021)

El envejecimiento a nivel mundial representa una problemática creciente, ya que se espera que una proporción significativa de la población alcance edades avanzadas en las próximas décadas, aumentando la demanda de soluciones efectivas para garantizar una calidad de vida óptima y un envejecimiento saludable.

A partir de esto, se han desarrollado diversas estrategias para evaluar el estado funcional de los adultos mayores mediante herramientas objetivas y reproducibles. La integración de sensores inerciales (IMU) en pruebas estandarizadas, como el SPPB y el programa de entrenamiento VIVIFRAIL, ha permitido cuantificar con mayor precisión parámetros de movilidad y fragilidad. No obstante, pese a estos avances, no se han encontrado aún o no existen repositorios abiertos con datos inerciales obtenidos durante la ejecución de estas pruebas, lo que limita la replicabilidad y comparabilidad de estudios en esta área. Para abordar esta necesidad, el proyecto MOTIVA ha generado un conjunto de datos inerciales basado en la evaluación funcional de adultos mayores, el cual debe ser estructurado conforme a los principios FAIR, asegurando su localización, accesibilidad, interoperabilidad y reutilización en futuras investigaciones.

A continuación, se sintetiza la problemática por ser abordada, se brinda una visión panorámica a través de una imagen integradora y se condensa información referente a las principales limitaciones de los estudios analizados en una tabla.

2.1. ANTECEDENTES

La vejez se considera desde un punto de vista antropológico como una noción de carácter inconcreta que hace referencia a un periodo de la vida de una persona (Cantú-Martínez, 2022). En este sentido, se considera fenómeno global que presenta numerosos desafíos en términos de salud funcional, especialmente con relación a la movilidad de los adultos mayores. Desde la configuración biológica, a medida que las personas evolucionan, experimentan una serie de cambios que con frecuencia se manifiesta en la disminución del aspecto funcional y por ende el aspecto fisiológico y de capacidad mental. Estos cambios incluyen la disminución de la masa muscular, la reducción de la densidad ósea y el deterioro de la función cardiovascular, lo que aumenta el riesgo de caídas y lesiones (Betances Reinoso et al., 2020).

Según la OMS, se estima que para el año 2050, la población de personas mayores de 60 años alcanzará los 2 mil millones, lo que representa un aumento del 200% en comparación con 2019 (Song et al., 2020). Este crecimiento demográfico, tal como se muestra en la Ilustración 1, plantea preocupaciones sobre el aumento de enfermedades crónicas, discapacidades y la necesidad de servicios de salud adecuados.

Población mundial de 65 años de edad o más

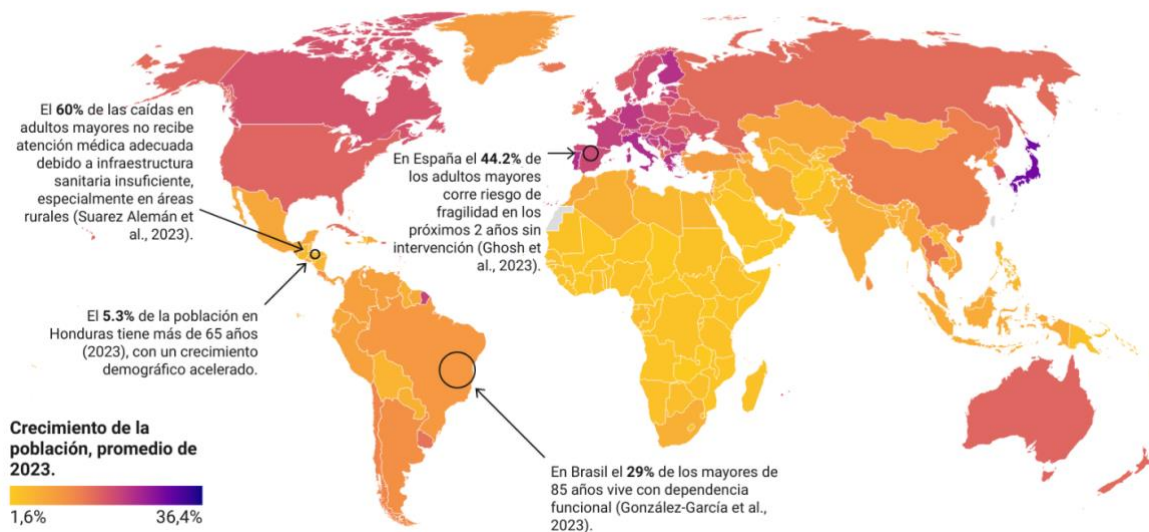


Ilustración 1 Población mayor a nivel mundial.

Fuente: Elaboración Propia. Basado en Estimaciones del Banco Mundial Previsiones Demográficas Mundiales de la División de Población de las Naciones Unidas.

Tomando lo mencionado en consideración, también representa un desafío significativo para la salud pública, especialmente en lo que respecta a la calidad de vida de los adultos mayores.

Un estudio realizado en el Reino Unido destaca que el 25% de los adultos mayores experimentan problemas de movilidad que afectan su capacidad para realizar actividades diarias (Elsayed et al., 2024). En el análisis de datos de la Encuesta Nacional de Salud en Estados Unidos, se encontró que el 30% de los adultos mayores reportaron limitaciones en su movilidad, lo que subraya la necesidad de intervenciones efectivas que aborden estos desafíos (Chia et al., 2023). Estos problemas de movilidad están asociados con un mayor riesgo de caídas, que son una de las principales causas de lesiones y hospitalizaciones en esta población (Qin et al., 2021).

En Ecuador, estudio reveló que el 60% de los adultos mayores presentaban sobrepeso u obesidad, condiciones que están asociadas con un mayor riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes y enfermedades cardiovasculares (Barahona et al., 2021). Estas condiciones no solo afectan la salud general, sino que también impactan directamente en la movilidad y la capacidad funcional de los adultos mayores. La obesidad, por ejemplo, puede provocar una disminución en la velocidad de marcha y un aumento en la fatiga, lo que limita aún más la actividad física y la independencia (Reinoso et al., 2020).

En Tailandia, la actividad física regular está correlacionada con una mejor salud mental y bienestar social entre los adultos mayores (Kaewsuphan et al., 2023). Este hallazgo es crucial, dado que la falta de actividad física no solo contribuye a problemas de movilidad, sino que también está relacionada con un aumento en los síntomas de depresión y ansiedad en esta población (Gaska et al., 2020). Por ejemplo, un estudio en Corea del Sur demostró que los adultos mayores con enfermedades periodontales tenían una calidad de vida significativamente menor, lo que sugiere que la salud bucal y la movilidad están interrelacionadas (Bazrafkan et al., 2022).

Además, se ha observado que el aumento de estrés y la ansiedad ha tenido un impacto desproporcionado en la salud de los adultos mayores, lo que ha afectado su movilidad y bienestar general (Bastani & Haghani, 2022). Un estudio en Irán encontró que el miedo y estrés causado por enfermedades, como el COVID-19, estaba asociado con un aumento en los problemas de movilidad entre los ancianos, lo que resalta la necesidad de abordar no solo los aspectos físicos de la salud, sino también los factores psicológicos que afectan a esta población (Namazi, 2020).

La relación entre el envejecimiento y la salud pública también se ve afectada por factores socioeconómicos. En China, un estudio mostró que el aumento de la dependencia de la población anciana ha llevado a un incremento en los gastos de salud, lo que supone una carga significativa para los hogares urbanos (Ertem, 2021). Este fenómeno es preocupante, dado que la presión sobre los sistemas de salud puede limitar el acceso a servicios esenciales para los adultos mayores, exacerbando aún más los problemas de salud en general (Horch, 2021).

La combinación de enfermedades crónicas, problemas de salud mental y factores socioeconómicos crea un panorama complejo que requiere un enfoque integral para mejorar la calidad de vida de esta población. La implementación de programas de promoción de la salud, el uso de tecnologías de monitoreo, intervenciones para mejorar la movilidad y el acceso a servicios de salud son esenciales para abordar estos desafíos y garantizar la independencia de esta población promoviendo un envejecimiento saludable.

2.1.1. Perspectiva global del envejecimiento saludable

El concepto o percepción del envejecimiento saludable varía significativamente según el contexto cultural y geográfico. Un estudio realizado por Chowdhury et al. (2023) en Canadá reveló que, para los adultos mayores sudasiáticos, el bienestar espiritual y las conexiones religiosas juegan un papel crucial en la percepción de un envejecimiento saludable, reflejando la importancia de los factores culturales en esta etapa de la vida. Por ejemplo, el estudio de Ghazali et al. (2023) donde se demostró que la religiosidad fue el factor más asociado con el envejecimiento saludable. En contraste, en países como Estados Unidos, el envejecimiento saludable se asocia principalmente con la autonomía funcional y la capacidad de realizar actividades diarias de manera independiente (Dev et al., 2020). A pesar de estas diferencias, la salud física sigue siendo un componente esencial, aunque se ve influenciada por las expectativas y normas sociales específicas de cada cultura (Silva et al., 2023). Esto evidencia que un enfoque que no considere las creencias y valores locales puede limitar la efectividad de las estrategias para promover un envejecimiento saludable.

Además de los aspectos culturales, las políticas públicas también influyen en la promoción del envejecimiento saludable. En Europa, por ejemplo, la iniciativa European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing (EIP on AHA) fomenta la colaboración entre gobiernos

e instituciones para crear entornos que promuevan la salud física y la participación comunitaria de los adultos mayores (Bousquet et al., 2015). Estas políticas buscan asegurar que los mayores tengan acceso a programas de ejercicio y a actividades que mejoren su calidad de vida. En Corea, al contrario, se proyecta que, en 2025, el 20.3% de la población será mayor de 65 años, lo que llevará al país a ser una "sociedad súper envejecida". Requiriendo con mayor necesidad, políticas de salud pública enfocadas en el envejecimiento saludable para reducir los altos costos de atención médica (Bertolazzi et al., 2024).

En China, un estudio encontró que el 42.83% de los adultos mayores con discapacidades experimentan bajos niveles de envejecimiento saludable debido a necesidades no satisfechas de asistencia en actividades de la vida diaria (Cao et al., 2023). Lo que es todo lo contrario en el caso de Estados Unidos, pues se ha observado que las actividades comunitarias tienen un impacto positivo en la salud emocional de los mayores, contribuyendo a su calidad de vida (Dev et al., 2020). Además, en un estudio realizado en la costa este de Malasia, la prevalencia del envejecimiento saludable entre ancianos que viven en la comunidad en Terengganu (14,1%) es comparable a las tasas de envejecimiento saludable ancianos de Noruega (14,5%) (Bosnes et al., 2019), pero ligeramente superior mayores de Corea (13,3%) (Jang, 2020), sin embargo, inferior a las registradas entre las personas mayores de Singapur (28,6%) (P. Zhang et al., 2023). Cualquier intervención debe reconocer el papel de la interacción social y ajustarse a las formas en que se genera en cada cultura, en vista de que los contextos locales influyen en la percepción y los resultados del envejecimiento saludable.

2.1.2. Envejecimiento Saludable

El concepto de envejecimiento saludable se ha abordado desde múltiples enfoques, todas convergentes en la búsqueda de bienestar en la vejez. Según Menassa et al. (2023) existen dos perspectivas principales: una que se enfoca en las dimensiones cognitivas, físicas, sociales y psicológicas, entendidas como la ausencia de enfermedad, y otra, que resalta la interacción dinámica entre la persona y su entorno a lo largo de la vida. Wahl (2020) coincide, añadiendo que estas dimensiones evolucionan según el contexto y la época.

La OMS define el envejecimiento saludable como "el proceso de desarrollar y mantener la capacidad funcional que permite el bienestar en la vejez" (Rudnicka et al., 2020).

Enfatizando así que el concepto va más allá de la ausencia de enfermedad, incluyendo el bienestar físico, mental y social (Cesari et al., 2015). Implica mantener la independencia y la funcionalidad, lo que a su vez contribuye a una mejor calidad de vida (Dabove, 2023). Integrando tanto la capacidad intrínseca; aspectos cognitivos, psicológicos, sensoriales, locomotores y de vitalidad, como el apoyo del entorno (Adhikari, 2020).

A medida que las personas envejecen, es común que experimenten una disminución en sus capacidades físicas y cognitivas, lo que puede resultar en una mayor vulnerabilidad a enfermedades y discapacidades (Quispe Montalvo et al., 2024). Esa transición es visible en la Ilustración 2, cómo las personas robustas suelen recuperarse tras eventos estresantes, mientras las frágiles avanzan hacia la discapacidad, especialmente ante nuevos episodios de estrés (Cristofori et al., 2023).

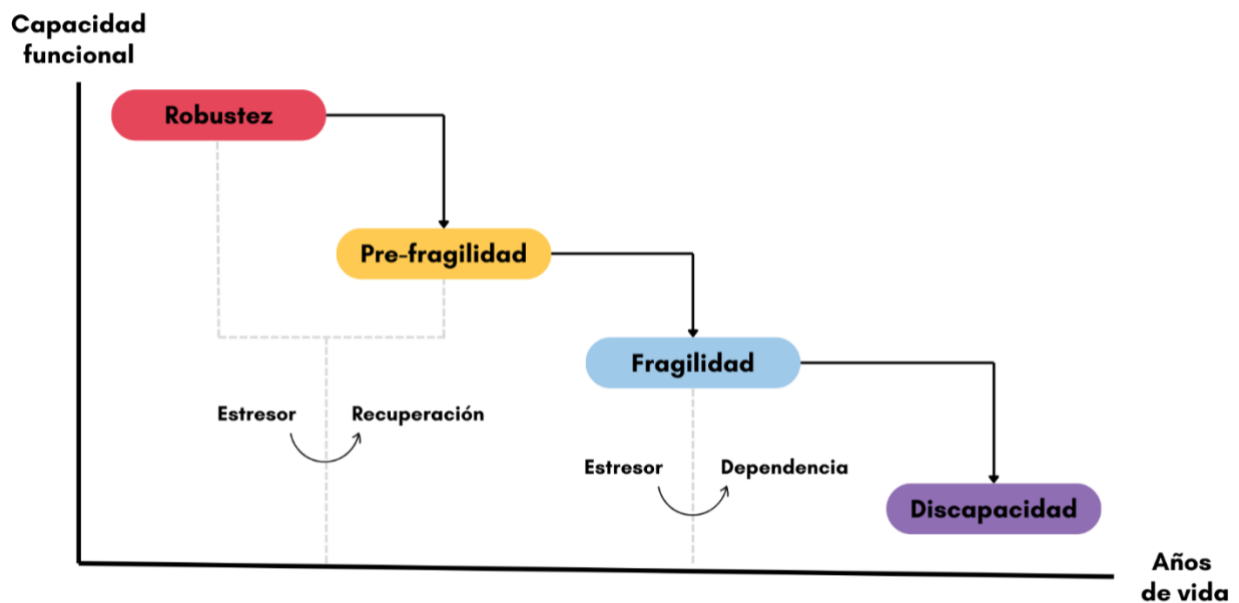


Ilustración 2 Cascada de disminución funcional.

Fuente: Elaboración Propia. Basado en Vargas-Del-Valle et al. (2021) y Dent et al. (2019).

La discapacidad, según la OMS, se refiere a deficiencias, limitaciones de actividad y restricciones en la participación, afectando a más de mil millones de personas en todo el mundo, de las cuales aproximadamente 200 millones enfrentan dificultades significativas en su funcionalidad (Tipán Espinoza, 2022). El desarrollo de esas discapacidades pueden ser el resultado de múltiples factores, incluyendo enfermedades crónicas, fragilidad y deterioro funcional. Por

ejemplo, un estudio en Brasil reveló que el 10.5% de las personas mayores de 65 años se encuentran en situación de dependencia funcional, cifra que aumenta al 29% en aquellos mayores de 85 años (González-García et al., 2023).

Indicando un número significativo, situación se traduce en una dependencia funcional que afecta la calidad de vida de los adultos mayores y genera una presión significativa sobre los recursos de atención médica y social (Andrade Farfán & Balda Zambrano, 2022). Las personas que no participan en actividades físicas regulares o que no reciben el apoyo social adecuado son más propensas a desarrollar discapacidades (Sirgo Álvarez, 2022). Lo que es alarmante pues conllevar a un ciclo de dependencia que es difícil de romper y que a su vez afecta su capacidad funcional e intrínseca. Por lo tanto, es crucial que las políticas públicas y los programas de salud se enfoquen en la prevención de la dependencia a través de la promoción de estilos de vida saludables y el acceso a servicios de atención adecuados (Ramírez Arellano & Mendoza-Núñez, 2022).

2.1.2.1 Capacidad funcional e intrínseca

La capacidad funcional y la capacidad intrínseca son dos conceptos interrelacionados y fundamentales para comprender el envejecimiento saludable. La capacidad funcional se refiere a la habilidad de una persona para realizar actividades de la vida diaria, lo que incluye tanto actividades básicas como complejas, crucial para mantener la independencia y la calidad de vida en la vejez (Calvo Higuera & Gomez Carrillo, 2023). Por otro lado, la capacidad intrínseca se define como la combinación de capacidades físicas, mentales y psicosociales que permiten a una persona llevar a cabo sus actividades cotidianas y participar en la vida social (Ribera Casado, 2021). Por ejemplo, una persona con la capacidad intrínseca de caminar podría ver limitada su capacidad funcional si vive en un lugar con escaleras empinadas y sin características de accesibilidad o apoyo social (Tarbert & Singhatat, 2023).

Lo que Pilotto et al. (2020) corroboran pues concluyeron que la creación de entornos accesibles no solo mejora la capacidad funcional de los mayores, sino también reduce el riesgo de caídas y fragilidad, dos de las principales causas de discapacidad en esta población. Así mismo (Zhao et al., 2023) quienes confirman que los entornos accesibles, junto con la integración de servicios de salud, son esenciales.

Lo que es digno de considerar dado que la disminución en cualquiera de las capacidades mencionadas puede llevar a un deterioro en la calidad de vida y aumentar el riesgo de dependencia (Ruiz-Ruiz et al., 2021).

A medida que disminuye la capacidad intrínseca, la capacidad funcional también puede verse afectada, generando dificultades para realizar actividades diarias (Luo et al., 2021). A la inversa, intervenciones dirigidas a mejorar la capacidad intrínseca impactan positivamente la capacidad funcional, mejorando la salud en adultos mayores (Yan, 2023). Tal como concluyeron Muneera et al. (2023) al observar que los adultos mayores con alta capacidad intrínseca tenían una prevalencia significativamente menor de dificultades en actividades de la vida diaria, como vestirse y alimentarse (12,26% frente a 22,38%), y en actividades instrumentales como manejar dinero y cuidar del hogar (31,13% frente a 49,52%), en comparación con aquellos con baja capacidad intrínseca. Además, reportaron menor incidencia de caídas (9,42% frente a 13,34%), lesiones relacionadas con caídas (4,10% frente a 6,06%) y caídas múltiples (3,46% frente a 6,16%). La discapacidad puede ir precedida de varios años por un estado de mayor vulnerabilidad conocido como fragilidad (Fried et al., 2001).

2.1.2.2 Fragilidad

La fragilidad es un concepto multifacético y dinámico que ha evolucionado significativamente en la literatura científica, pasando de una visión exclusivamente física a un enfoque multidimensional que integra aspectos psicológicos y sociales (Carrasco Diaz & Araya, 2023). Hay dos enfoques principales, por un lado, el modelo de acumulación de déficit de Rockwood define el índice de fragilidad (FI) como el número de déficits de salud observados en un individuo dividido por el número total de variables de salud bajo estudio (Cobo et al., 2021). Por otro lado, el modelo más aceptado, propuesto por Fried et al. (2001), define la fragilidad física en función de cinco criterios: pérdida de peso involuntaria, agotamiento, baja actividad física, velocidad de marcha lenta y debilidad (Li et al., 2020). Concepto que involucra diferentes sistemas biológicos (nerviosos, endocrinos, inmunes y musculoesqueléticos) (Clegg et al., 2013).

Este modelo, el fenotipo de Fried, es una de las herramientas más utilizadas para evaluar la fragilidad. Permite clasificar a los adultos mayores; aquellos que cumplen tres o más de estos

criterios son clasificados como frágiles; quienes cumplen uno o dos, como pre-frágiles; y quienes no cumplen ninguno, como robustos (Rodríguez Mañas et al., 2018).

No obstante, su conceptualización se amplió con el modelo de déficit acumulativo de Kenneth Rockwood y el enfoque de J.E. Morley, consolidándola como un área clave en la geriatría a nivel mundial. Definiéndose como un síndrome geriátrico que afecta entre el 5% y el 17% de los adultos mayores (Allison et al., 2021). Como herramientas ante ello, además del fenotipo de Fried, se ha propuesto el uso de escalas multidimensionales que consideran factores físicos, cognitivos y sociales para identificar a quienes están en riesgo de progresar hacia la discapacidad (Prasanth et al., 2021). Cabe destacar que la fragilidad es una característica más abstracta que no se puede medir directamente. En estos casos, se utiliza el análisis estadístico para establecer asociaciones entre los parámetros de los sensores y la fragilidad, o bien se entrenan modelos de aprendizaje automático para transformar esos parámetros en estimaciones útiles (Cobo et al., 2021).

Este índice se ha utilizado en diversas poblaciones, tal es el caso de Santamaría Peláez et al. (2021) donde demostraron que es efectivo para predecir resultados adversos en salud, como hospitalizaciones y mortalidad. Así mismo, estudios como (Cunha et al., 2023) han demostrado que el aumento en la actividad física no solo ayuda a prevenir la fragilidad, sino que también puede revertir su estado en personas que ya la presentan. Fernández-Revelles et al. (2023) concuerdan pues en su estudio se mostró que los adultos mayores que participaron en un programa de ejercicio multicomponente experimentaron mejoras significativas en su fuerza muscular, resistencia y capacidad funcional. Por lo que se concluye que aunque inicialmente se consideraba como un estado irreversible, con intervenciones adecuadas, es posible revertir (Alonso Bouzón & Rodríguez Mañas, 2021), ralentizar o detener la fragilidad a lo largo de los cuatro estados en la cascada de la disminución funcional en la Ilustración 2 (Vargas-Del-Valle et al., 2021).

Por lo que la fragilidad es un estado cambiante y no unidireccional (Acosta-Benito & Martín-Lesende, 2022). No obstante, una vez alcanzado el estado de discapacidad, revertirlo se vuelve más complicado e incluso puede considerarse imposible (Acosta-Benito & Martín-Lesende, 2022). Mientras que una persona robusta puede regresar a su estado anterior tras una

enfermedad, en personas frágiles la tendencia es a volverse dependientes y no recuperar su estado previo tras un episodio de enfermedad (Cristofori et al., 2023).

Más allá de la fragilidad física, se reconoce cada vez más la importancia de las dimensiones social y cognitiva. La fragilidad social, caracterizada por el aislamiento social y la falta de apoyo social, ha demostrado agravar los efectos de la fragilidad física y contribuir a resultados adversos en la salud (Wang et al., 2024). De igual forma, la fragilidad cognitiva, que combina el deterioro cognitivo y fragilidad física, destaca la necesidad de un enfoque integral en su evaluación y manejo (Jiao et al., 2023). La identificación y abordaje de estas es crucial para implementar intervenciones adecuadas que mejoren los resultados de salud y la calidad de vida de los adultos mayores. Especialmente en regiones como España, donde hasta el 44,2% de la población mayor corre el riesgo de volverse frágil en los próximos dos años si no se toman medidas preventivas (Ghosh et al., 2023).

Considerando lo anterior, la fragilidad se manifiesta a través de signos clínicos y funcionales por lo que su evaluación requiere de herramientas que permitan cuantificar con precisión esos cambios en el desempeño físico. En este sentido, el avance tecnológico promueve la incorporación de métodos de medición objetivos como complementación a las evaluaciones tradicionales, procurando la mejora y el seguimiento de esta condición.

2.1.3. Sensores inerciales en la evaluación funcional

El uso de tecnología en medicina ha crecido significativamente, y la capacidad de medir la fragilidad de forma no invasiva y con mínima incomodidad para el paciente es clave para su evaluación y prevención (García, 2020). Los IMU que incluyen acelerómetros, giroscopios y en algunos casos magnetómetros, han demostrado ser herramientas precisas para el monitoreo continuo de diversas variables de movimiento humano (Jung et al., 2020). Al ser dispositivos que permiten medir la aceleración y la rotación de un objeto en movimiento, proporcionan información crucial sobre su posición y orientación en el espacio siendo datos de movimiento completos (Dugarte Jerez et al., 2024).

Al medir la aceleración y la rotación, permiten la obtención de parámetros de marcha de manera precisa y en tiempo real, lo que es crucial para la evaluación y rehabilitación de la movilidad (Werner et al., 2021). Sin embargo, obtener información sobre los ejes medio lateral y

anteroposterior son clave para analizar la estabilidad postural y la movilidad en adultos mayores. Con ello en mente, la Sociedad Internacional de Biomecánica ISB, se recomienda una orientación específica (Wu & Cavanagh, 1995), tal como se muestra en la Ilustración 3. En adultos mayores frágiles, el eje medio lateral muestra mayor variabilidad, reflejando dificultades en el equilibrio lateral, mientras que el anteroposterior este asociado con la coordinación y la fuerza.

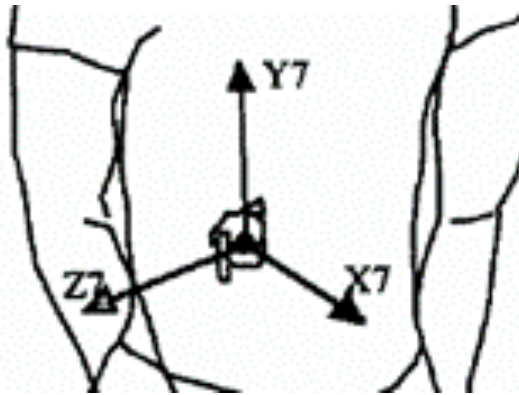


Ilustración 3 Referencia para señales registradas en el centro de masa para los tres ejes.

Fuente: Wu & Cavanagh (1995) y Aznielle Rodríguez et al. (2023).

Cambios en estos ejes permiten detectar variaciones en el equilibrio como signo temprano de fragilidad (Vivas Albán et al., 2020) y aumentar el riesgo de caídas. Esto facilita el monitoreo del estado funcional y el diseño de intervenciones personalizadas para mejorar la movilidad y prevenir accidentes (Chen et al., 2021). Integrados en dispositivos portátiles, estos sensores optimizan la evaluación de distintos parámetros de movilidad, reduciendo la subjetividad. Además al proporcionar datos en tiempo real, permite una detección ágil de problemas y una adaptación precisa de las intervenciones (Castellanos-Ruíz et al., 2020).

Estos dispositivos destacan por ser compactos, económicos y fácil de utilizar al poder colocarlos en distintas partes del cuerpo, lo que los hace adecuados tanto para entornos clínicos como para el uso cotidiano. En cuanto a su fiabilidad, estudios han mostrado que proporcionan datos consistentes para evaluar parámetros espaciotemporales de la marcha, mostrando alta concordancia con los métodos tradicionales y validándose en poblaciones con condiciones específicas, como esclerosis múltiple, donde pueden detectar alteraciones sutiles que otros métodos pasan por alto (Zahn et al., 2023).

Además, se utilizan cada vez más para evaluar el riesgo de caídas y fragilidad en adultos mayores, identificando mediante el análisis de la marcha a aquellos con mayor riesgo y facilitando intervenciones tempranas (Baba et al., 2023). También se han explorado aplicaciones en la detección del deterioro cognitivo, mediante sistemas automáticos que, por medio de biomarcadores de la marcha, identifican signos de deterioro cognitivo leve en el hogar (Zhou et al., 2023). La instrumentación portátil ha demostrado ser una herramienta valiosa, proporcionando información complementaria a la evaluación geriátrica convencional. El uso de sensores se presenta como una estrategia innovadora para el análisis del movimiento humano y de forma más específica, promoviendo un envejecimiento saludable mediante la monitorización y prevención de la discapacidad funcional.

2.1.3.1. Aplicaciones en pruebas funcionales

Los IMUs se han incorporados en las pruebas funcionales geriátricas con el fin de cuantificar el rendimiento de forma más detallada. Entre los métodos más utilizados se encuentran el Timed Up and Go (TUG), el Test de Velocidad de la Marcha (TVM) y la Short Physical Performance Battery (SPPB), las cuales permiten evaluar la capacidad funcional y el riesgo de caídas (Bitencourt et al., 2020).

El TUG se utiliza para evaluar la movilidad funcional al medir el tiempo que una persona tarda en levantarse de una silla, caminar una distancia específica, girar y regresar a la silla (Palacios Freire et al., 2024). Por otro lado, el TVM se utiliza para medir la velocidad a la que una persona puede caminar una distancia determinada, generalmente 10 metros, y se ha asociado con la predicción de caídas y deterioro funcional (Kim & Choi, 2024). En cuanto al SPPB, es una herramienta ampliamente utilizada para evaluar el rendimiento físico en adultos mayores compuesto por tres pruebas clave: equilibrio, tiempo para levantarse de una silla cinco veces, y velocidad de la marcha en un trayecto de 3 a 4 metros (Hanada et al., 2020). Consolidándose como una herramienta fundamental en la evaluación del rendimiento físico en adultos mayores, ya que permite una valoración objetiva de la marcha, el equilibrio estático y la fuerza de los miembros inferiores (Soares et al., 2024).

Los valores de referencias para el SPPB, como los estudiados por Lee et al. (2021), indican que los puntajes disminuyen con la edad. Un SPPB con puntaje ≤ 11 se considera un indicador útil

para detectar limitaciones funcionales significativas y fragilidad, mientras que un SPPB ≥ 10 puntos sugiere ausencia de fragilidad y recomienda un monitoreo periódico para la detección precoz tras eventos significativos de salud (Metanmo et al., 2023).

Estas pruebas se cronometran y se puntúan de forma visual, pero al implementar IMUs se permite una medición más precisa y automatizada, reduciendo la carga operativa en entornos clínicos y comunitarios. Estudios como el de Bai et al. (2018) han demostrado que el uso de microcontroladores y sensores MEMS en la evaluación del SPPB permite realizar mediciones de forma rápida en contextos de atención primaria donde se evalúan a un gran número de personas con un tiempo limitado. Así mismo, Musci et al. (2022) lograron validar una correlación entre la versión tradicional del SPPB y su versión basada en tecnología mediante IMUs y sondas EMG en miembros inferiores, corroborando no solo la precisión sino también la eficiencia en cuanto a tiempo debido a la automatización del proceso.

Así mismo, avances en inteligencia artificial han permitido desarrollar modelos predictivos basados en IMUs. Friedrich et al. (2021) implementaron redes neuronales profundas para predecir el puntaje del SPPB con una precisión del 94.27%, lo que demuestra nuevas posibilidades reduciendo la dependencia de evaluaciones clínicas supervisadas. El sistema propuesto por Menéndez Álvarez et al. (2020) fue aplicado en la evaluación del equilibrio dinámico en adultos mayores, específicamente en la prueba de SPPB de levantarse de una silla en un intervalo de 12 segundos. Utilizando un sensor IMU, el sistema permitió estimar el ángulo de inclinación del cuerpo a partir de la fusión de datos del acelerómetro y giroscopio mediante un filtro complementario.

Estos avances tecnológicos no solo optimizan la detección de fragilidad y deterioro funcional, sino que también promueven el desarrollo de nuevas estrategias de rehabilitación basadas en datos precisos y personalizados

2.1.4. Origen de proyecto

El Laboratorio de Envejecimiento Saludable fue creado en 2015 por el Centro de Tecnología Biomédica (CTB) en conjunto con el Hospital Universitario de Getafe. Según el Informe Mundial sobre el Envejecimiento y la Salud emitido en octubre del 2015 por la Organización Mundial de la Salud; la asistencia y el cuidado de los ancianos deben centrarse en mantener la

autonomía funcional en lugar de tratar o curar una enfermedad. Con eso en mente, Ageing Lab se centra en uno de los principales problemas relacionados con la salud de las personas mayores, la discapacidad; y su principal factor de riesgo, la fragilidad.

El presente trabajo se desarrolla en el marco del proyecto MOTIVA, el cual es financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, en él participan el Centro de Tecnología Biomédica (CTB) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y la Fundación para la Investigación Biomédica del Hospital Universitario de Getafe (FIBHUG).

MOTIVA propone un ecosistema computacional que combina apoyo motivacional, evaluación funcional y monitoreo de desempeño físico a través de herramientas tecnológicas.



Ilustración 4 Rueda D (Robustas) VIVIFRIL.

Fuente: Sitio web Proyecto Vivifrail.

Su objetivo es mejorar la funcionalidad de adultos mayores robustos y pre-frágiles, promoviendo su independencia y, por tanto, reducir la carga sobre los servicios de atención médica. Una iniciativa centrada en facilitar la evaluación autónoma del estado funcional y la ejecución de programas de ejercicio como VIVIFRIL.

Un programa de ejercicio multicomponente que se basa en la premisa de que la actividad física regular puede contrarrestar los efectos del envejecimiento y la inactividad, especialmente en poblaciones vulnerables como los adultos mayores (Dent et al., 2023).

La asignación de las diferentes configuraciones del programa VIVIFRAIL surge dependiendo de los resultados en la prueba SPPB (Puntuación 4-6 Rueda B; Puntuación 7-9 Rueda C; Puntuación 10-12 Rueda D). En el proyecto MOTIVA la mayoría de la población se encuentra dentro de la rueda D, Ilustración 4, para personas robustas. Pero hay casos de participantes pertenecientes a las ruedas B (personas con fragilidad) mostrada en el Anexo 2 y C (personas con pre-fragilidad) en el Anexo 3.

Retomando lo mencionado previamente, el SPPB comprende tres pruebas diferentes: una prueba de velocidad de la marcha de 4 metros (4mWT) (aunque también está validado para una prueba de 3 metros), una prueba de fuerza consistente en levantarse 5 veces de una silla (5STS) y una prueba de equilibrio (Guralnik et al., 1994).

Se utiliza el sensor vestibular de MOTIVA, un dispositivo compacto de 10,5 x 7 x 3,5 cm que integra un IMU con seis grados de libertad registrando variaciones durante el ejercicio y almacenando los datos en una memoria interna, físicamente se ve como en la Ilustración 5.



Ilustración 5 Diseño final de dispositivo MOTIVA.

Fuente: Elaboración Propia.

Dependiendo del tipo de prueba o ejercicio, los sensores se colocan en diferentes partes del cuerpo. Tal como se muestra en la Ilustración 6, se incluye el antebrazo derecho e izquierdo (ID 4-5), la pantorrilla derecha e izquierda (ID 8-9), y la cintura (ID 1), utilizando cinturones o bandas elásticas. La recolección de estos datos es crucial para calibrar los algoritmos de evaluación, lo que permitirá analizar el progreso y la adherencia al programa VIVIFRAIL.

Además, una aplicación móvil registra los resultados y eventos clave durante las sesiones, garantizando un seguimiento detallado y estructurado del desempeño de cada participante.

En este contexto, el presente trabajo, aborda este análisis desde el objetivo del proyecto MOTIVA de ofrecer una solución TIC para la evaluación funcional mediante la ejecución autónoma del SPPB. De forma específica, su interés en la creación de un conjunto de datos inerciales del SPPB y los ejercicios de VIVIFRAIL, debido a la falta de estos en repositorios abiertos, para la creación de dichas soluciones TIC. No obstante, para que estos datos sean aptos para compartirlos con la comunidad científica, es necesario estructurarlos en un dataset FAIR. Es decir, garantizar su correcta organización, documentación e interoperabilidad con diversas plataformas y herramientas de investigación. Este trabajo contribuye al desarrollo del proyecto MOTIVA proporcionando una base de datos estructurada adecuadamente permitiendo su difusión en la comunidad científica y propiciando avances en la evaluación funcional de adultos mayores.

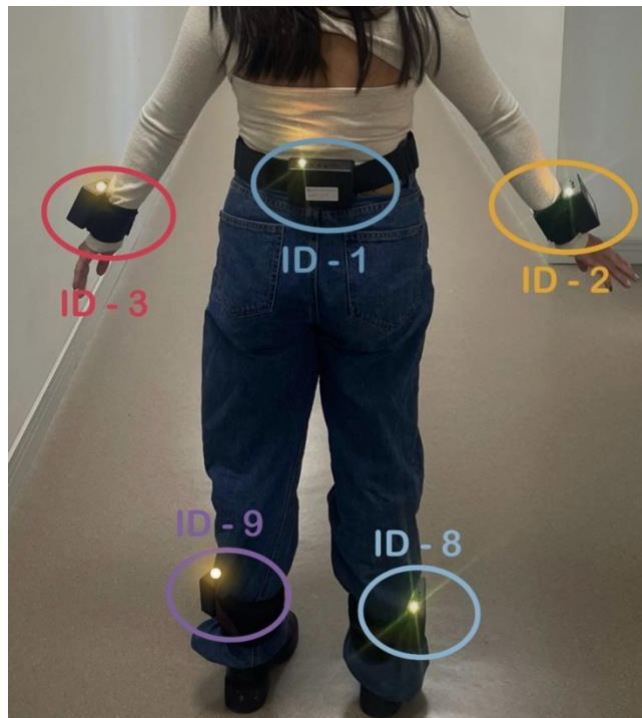


Ilustración 6 Identificación de sensores para prueba SPPB - MOTIVA.

Fuente: Elaboración Propia.

2.1.5. Ciencia Abierta

La ciencia abierta surge como un nuevo modelo de hacer ciencia basado en el trabajo colaborativo entre académicos, en el acceso y la transparencia en todas las fases de la

investigación (Abadal, 2019). No solo favorece la colaboración entre investigadores, sino que también fomenta la innovación y el intercambio de conocimientos, promoviendo avances significativos en una amplia variedad de disciplinas (Guevara-Pezoa, 2023). Es así como la ciencia, trasciende fronteras

La UNESCO, en su recomendación sobre ciencia abierta, define este concepto como una estructura que combina movimientos y prácticas para asegurar que el conocimiento científico esté abiertamente disponible y accesible para todos (UNESCO, 2021). Asimismo, enfatiza la importancia de incrementar las colaboraciones científicas y el intercambio de información en beneficio de la ciencia y la sociedad, así como de abrir los procesos de creación, evaluación y comunicación del conocimiento científico a agentes sociales más allá de la comunidad científica tradicional (Beigel, 2022). Desde los centros de investigación, las universidades, los laboratorios, la industria y los gabinetes políticos, se desarrolla como un ejercicio de participación ciudadana, inteligencia colectiva e inclusión democrática del conocimiento en las sociedades de nuestra región (UNESCO, 2024).

Existen diversas propuestas sobre los elementos que componen la ciencia abierta, entre ellos destacan seis ámbitos fundamentales, que incluyen el acceso abierto, los datos de investigación, las políticas de ciencia abierta, y diversos instrumentos que facilitan estos procesos (Abadal, 2021).

Las políticas de ciencia abierta son esenciales para fomentar prácticas que apoyen el acceso abierto y la disponibilidad de datos. Estas políticas son cada vez más relevantes en las convocatorias de financiamiento, donde se exige a los investigadores que hagan públicos sus hallazgos (Bi, 2017). Por ejemplo, la iniciativa SCOAP3 ha demostrado ser efectiva en la conversión de la literatura científica a un modelo de acceso abierto a través de un financiamiento colaborativo de bibliotecas, destacando la importancia de políticas adecuadas para facilitar la transición a la ciencia abierta (Kohls & Mele, 2018). Además, las políticas también enfatizan la necesidad de rendición de cuentas en la publicación mediante criterios de calidad, como lo sugieren varias investigaciones en el campo de la evaluación de la investigación (Dames et al., 2024).

La Open Science Policy Platform complementa este marco con ocho elementos fundamentales que destacan aspectos clave como la integridad de la investigación y la participación ciudadana. Estos elementos son críticos no solo para mejorar la confianza en la ciencia, sino también para

involucrar al público en el proceso científico, permitiendo un diálogo más amplio sobre los hallazgos y su aplicación en la sociedad (Wouters et al., 2019). La integridad de la investigación se convierte en un enfoque central, donde se refiere a prácticas éticas en la publicación y la gestión de datos, mientras que la ciencia ciudadana promueve la colaboración entre investigadores y ciudadanos en la creación de conocimiento (Gärtner et al., 2022).

Los mencionados anteriormente y muchos otros surgen como un marco para abordar las diversas dimensiones de la ciencia abierta, enfatizando la importancia del acceso abierto, la gestión de los datos y las políticas necesarias para procurar una cultura de transparencia y colaboración en la investigación.

2.1.5.1. Acceso abierto (*Open Access*)

El acceso abierto es un principio fundamental de la ciencia abierta que permite que los resultados de la investigación científica (incluyendo artículos, datos y otros materiales) estén disponibles de manera gratuita y sin restricciones para cualquier persona interesada (Abadal, 2021). Este enfoque busca eliminar las barreras económicas y legales que tradicionalmente han limitado el acceso a la literatura científica.

Su implementación ha facilitado que los resultados de investigaciones financiadas con fondos públicos sean accesibles para todos (Pallares et al., 2022). Entre estos resultados se encuentran los datos de investigación, es decir, los conjuntos de información recopilados durante el proceso de investigación que pueden ser utilizados para validar resultados, realizar nuevos análisis o desarrollar nuevas investigaciones (Abadal, 2021).

El acceso abierto a publicaciones se refiere a la práctica de poner disponible el contenido de artículos académicos en línea sin restricciones de acceso (Nazim & Zia, 2020). Investigaciones indican que no solo mejora la visibilidad y la citación de los artículos, sino que también facilita la difusión más amplia de los resultados de la investigación, contribuyendo al desarrollo del conocimiento científico en diversas disciplinas (Maddi, 2020).

Por otro lado, el acceso a datos implica la disponibilidad de conjuntos de datos para su uso y reutilización por parte de otros investigadores o el público en general (Alryalat et al., 2023). A través de dicho acceso se busca que los investigadores puedan acceder a datos previamente recolectados y publicarlos para facilitar la replicación de estudios, realizar nuevas investigaciones

o aplicar estos datos en diferentes contextos. Esta modalidad no solo ahorra tiempo y recursos en la recolección de nuevos datos, sino que también fomenta la colaboración y la transparencia en la investigación (BaHammam & Chee, 2022). Mientras que el acceso abierto se enfoca en la publicación de estudios completos, el acceso a datos se centra en la liberación de datos que pueden ser utilizados de forma independiente.

Una investigación revela que, aunque no existe una conexión fuerte entre artículos de acceso abierto y datos abiertos, la tendencia hacia la publicación en acceso abierto podría correlacionarse con el acceso a datos abiertos, promoviendo así un entorno de investigación más integrado y colaborativo (Williams, 2020). Sin embargo, su relación es especialmente relevante en el marco de los principios FAIR, los cuales buscan garantizar que los datos sean localizables, accesibles, interoperables y reutilizables, contribuyendo así a una mayor transparencia y replicabilidad en la ciencia, pero, para lograrlo es necesario una adecuada gestión de los datos.

2.1.6. Gestión de datos

La ciencia abierta al promover la accesibilidad y la transparencia en la investigación, se apoya en prácticas de gestión de datos (González Argote, 2022). Por lo que la gestión de datos en la investigación científica se ha convertido en un aspecto fundamental para garantizar su preservación, acceso y reutilización. Una adecuada planificación permite que los datos generados en los proyectos de investigación sean organizados y almacenados de manera eficiente, facilitando su disponibilidad para futuras consultas y análisis.

Zarzoso Gaya (2024) menciona que incluye diversas disciplinas o tareas, entre ellas: el procesado e integración de los datos, almacenamiento y la seguridad de estos. El procesado hace referencia al filtrado realizado con el fin de identificar que datos son útiles reduciendo el conjunto de datos. El almacenamiento es uno de los puntos clave y el modelado relacional es uno de los enfoques más utilizados, emplea tablas para representar la información (Ruiz Ledesma et al., 2022).. Si bien es cierto, hay otros métodos como los modelos jerárquicos que organiza los datos en una estructura en forma de árbol, donde cada registro tiene un único padre y puede tener múltiples hijos. A menudo, este modelo es utilizado en sistemas de gestión de contenido y en aplicaciones donde los datos tienen una estructura fija y predefinida, aunque ha perdido

relevancia frente a modelos más flexibles como el relacional (Abad Molina & Arciniegas Castro, 2023).

Finalmente, la seguridad de los datos, una de las ramas de mayor importancia pues procura la integridad de los datos, incluyendo la gestión de acceso y el borrado de estos. La implementación de prácticas adecuadas en la protección de datos ayuda a prevenir la pérdida de información y asegura la privacidad de los usuarios (Rojas Valiente et al., 2023). Asimismo, los repositorios de datos abiertos juegan un rol fundamental pues proporcionan un espacio seguro y accesible para su almacenamiento, difusión y reutilización. Estas plataformas garantizan la preservación a largo plazo de la información y facilitan su integración en nuevas investigaciones (Ugochukwu & Phillips, 2024).

La implementación de un Plan de Gestión de Datos (DMP, por sus siglas en inglés) es una estrategia clave para asegurar que la información recopilada se maneje de forma responsable y conforme a los principios de la ciencia abierta (Devignes et al., 2023). Un DMP es un documento estructurado que detalla las estrategias para la recolección, almacenamiento, organización, preservación y acceso a los datos durante y después de la investigación (Ward et al., 2024). Su importancia radica en que establece directrices claras que favorecen la transparencia y la reproducibilidad de los estudios. El mismo debe incluir información esencial como la descripción de los datos, los formatos y estándares utilizados, estrategias de almacenamiento y respaldo, políticas de acceso y reutilización, criterios de gestión de metadatos, medidas para la preservación a largo plazo y las responsabilidades asignadas dentro del equipo de investigación (García-Espinosa & Soriano, 2021).

Combinando el acceso abierto y la gestión de datos, se permite que la investigación científica sea no solo más accesible, sino también de mayor calidad. Esto se debe a que un acceso eficiente a los datos facilita no solo la verificación de resultados, sino la posibilidad de que otros investigadores construyan sobre estos hallazgos, creando un ciclo de investigación más dinámico y colaborativo (Gebre & Morales, 2020). Además, iniciativas de ciencia abierta también están promoviendo una cultura donde los datos son compartidos en tiempo real, facilitando su uso inmediato para responder a preguntas de relevancia social, como durante emergencias de salud pública (Perucci & Swanson, 2024).

Dado que la ciencia abierta y la gestión adecuada de datos en investigación requieren estructuras organizadas y accesibles, surgen los principios FAIR como una guía para garantizar que los datos sean localizables, accesibles, interoperables y reutilizables. Los mismos han demostrado el valor e incentivado la importancia de una buena gestión de datos y contribuyendo a su vez al desarrollo de una cultura de investigación más abierta y accesible (Barker et al., 2022).

2.1.7. Principios FAIR

Una buena gestión de datos permite el proceso continuo de descubrimiento, evaluación y reutilización en futuros estudios. Sin embargo, ante la falta de una definición clara sobre cómo llevar a cabo una gestión adecuada, esta quedaba a criterio del propietario de los datos o del repositorio. Por esta razón, surgió la necesidad de establecer ciertas directrices o una guía para quienes publican o preservan datos académicos.

Con este objetivo, en 2014 se llevó a cabo el taller titulado "Conjunto de diseño de un Fairport de datos" en Leiden, Países Bajos. En este evento, grupos de académicos y partes privadas interesadas propusieron directrices para mejorar la localización (*Findability*), accesibilidad (*Accessibility*), interoperabilidad (*Interoperability*) y reutilización (*Reusability*) de los datos científicos. Como resultado de esta reunión, se elaboró un borrador con los principios fundamentales, los cuales fueron posteriormente definidos con mayor detalle y formalmente publicados por Wilkinson et al. (2016).

Previo a la descripción de dichos principios es de suma importancia conocer ciertos conceptos que se repiten en múltiples ocasiones. Al emplear la palabra "datos" hace referencia a toda la información digital que se ha obtenido de observaciones, simulaciones o experimentos y que pueden ser procesado tanto por humanos como por máquinas. Así mismo en el caso del término "metadato" donde lo utiliza para referirse a aquella información cuyo propósito es describir los datos (M. D. Wilkinson et al., 2016). Con esto definido, los principios están compuestos con un total de 15 subprincipios por evaluar, divididos en cada una de las siglas las cuales tienen su propio significado, las cuales se mencionan a continuación.

La F hace referencia a la palabra *findable*, lo que en español significa localizable. Enfocándose en la facilidad con la que una persona o máquina puede encontrar los datos, lo que implica de

aspectos específicos como la asignación de identificadores únicos y el uso de metadatos (Barker et al., 2022). La misma está compuesta por 4 subprincipios, Tabla 1.

Tabla 1 Subprincipios F (Localizable).

Principio	Descripción
F1	Los metadatos se asignan un identificador globalmente único y persistente.
F2	Los datos se describen con metadatos de calidad (definidos por R1).
F3	Los metadatos incluyen clara y explícitamente el identificador de los datos que describen.
F4	Los metadatos están registrados o indexados en un recurso de búsqueda.

Fuente: Elaboración Propia basado en Wilkinson et al. (2016).

Un identificador único global (GUID), tal como su nombre lo menciona, es un identificador con la capacidad de ser único a nivel mundial con el fin de identificar recursos digitales y objetos en diferentes sistemas sin posibilidad de colisión. Algunos ejemplos son los UUIDs (*Universally Unique Identifiers*), DOI (*Digital Object Identifiers*), ISBN (*International Standard Book Number*) o los ORCID (*Open Researcher and Contributor ID*) (Barker et al., 2022). Con frecuencia se conoce el DOI pues la mayoría de las veces se obtiene dependiendo del repositorio o la base de datos la cual al subir el *dataset* automáticamente asigna uno, un ejemplo es Zenodo y Figshare. La palabra persistente hace referencia a que el identificador de dicho recurso no será utilizado en diferentes contextos aun cuando ese recurso se desaparezca (Jacobsen, De Miranda Azevedo, et al., 2020).

El énfasis del F2 es con el fin de que los metadatos contengan información precisa que detalle los datos a los que se refiere, buscando la efectividad de los metadatos y para ello deben cumplir con ciertos estándares de calidad que permitan su uso y reutilización. Así mismo procurando utilizar formatos estandarizados para que sean fáciles de interpretar por programas, lo suficientemente descriptivos para que puedan ser leídos por humanos y máquinas.

Por su lado, el F3 está relacionado con el F2, pues requiere que los metadatos incluyan un identificador de los datos que se describen (Zarzoso Gaya, 2024). Finalmente el F4 permite el descubrimiento de los datos a través de motores de búsqueda lo que beneficia particularmente a investigadores interesados en análisis multicéntricos (Groenen et al., 2020). Busca facilitar la localización, que el que estén incluidos en un catálogo o registro le permita a los usuarios y

programas encontrarlos fácilmente (Sayão, 2021). Se prioriza el aspecto de rastrear rápidamente el conjunto de datos original para comprender su contexto, la indexación asegura que cualquier usuario o sistema puedan localizar rápidamente los datos usando sus metadatos (Ávila-Barrientos, 2020). Así mismo cabe destacar, como en la actualidad es de suma importancia la calidad de los metadatos en los registros digitales pues está directamente relacionado con la eficacia y gestión de los datos.

La A, hace referencia a accesible, por lo que se enfoca en garantizar que los datos puedan ser recuperados y utilizados, incluso si no son de acceso público. Se refiere a la facilidad con la que una persona o una maquina puede acceder a dichos datos (M. D. Wilkinson et al., 2016). En la Tabla 2 se puede observar su composición por 4 subprincipios conectados entre sí.

Tabla 2 Subprincipios A (Accesibles).

Principio	Descripción
A1	Los metadatos son recuperables por su identificador utilizando un protocolo de comunicaciones estandarizado.
A1.1	El protocolo es abierto, gratuito y universalmente implementable.
A1.2	El protocolo permite un procedimiento de autenticación y autorización, cuando sea necesario.
A2	Los metadatos son accesibles, incluso cuando los datos ya no están disponibles.

Fuente: Elaboración Propia basado en Wilkinson et al. (2016).

Mediante protocolos de comunicación estandarizados se busca proporcionar acceso claro y bien definido de los datos, asegurando que los usuarios sepan cuáles pasos seguir para acceder a ellos (De Visser et al., 2023a). También que el utilizarlo permite acceder los recursos de forma predecible, independientemente de las restricciones sobre el acceso que tengan los datos (Jacobsen, Kaliyaperumal, et al., 2020).

Para el cumplimiento del A1 es posible utilizar el Protocolo De Transferencia de Hipertexto (HTTP) el cual es fundamental en la comunicación de datos en la *World Wide Web*, facilita la transferencia de datos entre servidores y clientes de manera eficiente y estandarizada (Juca Rodríguez et al., 2023). Asimismo, el protocolo Modbus, el cual puede implementarse tanto en forma serial (Modbus RTU) como en TCP/IP (Modbus TCP), lo que lo hace adaptable a diferentes

entornos de comunicación como la investigación. También el Protocolo de Cola de Mensajes Telemetría (MQTT) es otra herramienta clave en la comunicación de datos, especialmente en el contexto del Internet de las Cosas (IoT). Su capacidad para conectar múltiples dispositivos simultáneamente lo convierte en un recurso valioso para la recopilación y monitoreo de datos en tiempo real, lo que lo hace ideal para escenarios de investigación donde es crucial realizar la gestión continua de datos (Acevedo Hernández & Pinzón Ardila, 2024).

El subprincipio A1.1 enfatiza que el protocolo que se elija debe ser abierto, es decir no tener un costo a los recursos. Gratuito con el fin de brindar los recursos independientemente de las condiciones económicas de las personas que busquen acceder a ellos, y, finalmente universalmente implementable, refiriéndose a que no se encuentre restringido en ciertas regiones (Zarzoso Gaya, 2024).

Compartir la información es necesario, sin embargo, no todo tipo de información debe ser de acceso abierto, específicamente en el sector salud donde hay muchos temas de privacidad. Es por ello por lo que mediante el subprincipio A1.2 se busca procurar esto mediante un proceso de autenticación, para identificar de forma precisa la persona u organización. Esto aplica incluso en el caso de máquinas pues es necesario presentar las credenciales de la persona u organización responsable de dicha maquina (Jacobsen, Kaliyaperumal, et al., 2020).

El objetivo principal de los datos es que sean referenciados y contribuir al fomentar investigaciones, con ello en mente el subprincipio A2 procura que, aunque los datos ya no estén accesibles por su eliminación, ya sea de forma voluntaria o accidental, los metadatos siempre estén accesibles y cuenten con la información necesaria para que se comprendan. Esto en caso de que, si los datos fueron referenciados por otros, las personas puedan comprender la naturaleza de los datos o a lo que ellos se referían cuando lo referenciaron, aunque ya no estén disponibles (Jacobsen, Kaliyaperumal, et al., 2020). Garantizando un acceso constante a la información que permita a los investigadores entender los datos (Barker et al., 2022).

Por su parte, la interoperabilidad permite que diversas plataformas, aplicaciones y subsistemas compartan datos sin restricciones, propiciando un entorno donde la información puede ser recuperada, interpretada y utilizada de manera eficiente (Casales-Hernández et al., 2022).

Con ello en mente la I hace referencia a ello, la misma se divide en los subprincipios compartidos en la Tabla 3.

Tabla 3 Subprincipio I (Interoperable).

Principio	Descripción
I1	Los metadatos utilizan un lenguaje formal, accesible y ampliamente aplicable para la representación del conocimiento.
I2	Metadatos utilizan vocabularios que siguen los principios FAIR.
I3	Los metadatos incluyen referencias cualificadas a otros metadatos.

Fuente: Elaboración Propia basado en Wilkinson et al. (2016).

El subprincipio I1 se define bien por sí solo, sin embargo, cabe destacar que su énfasis en el empleo de un lenguaje específico es con el fin de permitir la interpretación mecanizada, es decir, que las máquinas puedan leer el contenido (Zarzoso Gaya, 2024). Así mismo el I2 pues los vocabularios, los conjuntos de términos empleados para describir de forma unívoca un concepto (Amdouni & Jonquet, 2022) deben estar basados en ontologías, terminologías o de forma general nomenclaturas aceptadas en la comunidad científica, que sean universalmente reconocidas, facilitando así la integración con otros sistemas (Ávila-Barrientos, 2023).

El I3 significa que cuando se documenta un *dataset*, no se debe dejar aislado. Es decir, es necesario referenciar otro conjunto de metadatos o fuentes de información con las que esté relacionado y la relación entre ambos recursos debe estar especificada de forma clara (Jacobsen, Kaliyaperumal, et al., 2020). Además de seguir un formato estándar que tanto humanos como máquinas puedan comprender.

Finalmente, la R se refiere a la palabra reusable, la capacidad de que los datos sean utilizados nuevamente por diferentes usuarios, en contextos variados y para múltiples propósitos. El mismo se divide en cuatro subprincipios, los cuales se encuentran en la Tabla 4.

El R1 hace referencia a como los metadatos deben proporcionar información detallada sobre el uso, condiciones y posibles limitaciones de los datos, asegurando que los futuros usuarios comprendan como y para que se pueden utilizar (De Visser et al., 2023). Por su parte, el R1.1 menciona la necesidad de una licencia, esto implica especificar bajo qué condiciones los datos pueden ser utilizados, asegurando que los usuarios comprendan sus derechos y

responsabilidades al hacer uso de esos datos (Sayão, 2021). Incluso aquellos recursos abiertos deben contar con una para evitar generar incertidumbre legal (Jacobsen, De Miranda Azevedo, et al., 2020).

Tabla 4 Subprincipio R (Reutilizable).

Principio	Descripción
R1	Los metadatos se describen con una pluralidad de atributos precisos y relevantes.
R1.1	Los metadatos se publican con licencia de uso de datos clara y accesible.
R1.2	Los metadatos están asociados con procedencia detallada.
R1.3	Los metadatos cumplen con los estándares comunitarios relevantes para el dominio.

Fuente: Elaboración Propia basado en Wilkinson et al. (2016).

El R1.2 se da con el objetivo de que se especifique el propósito de los datos y quien los genero. Esto para que las personas interesadas en reutilizarlo sepan y evalúen si los recursos cumplen con sus criterios y entiendan un poco el contexto de todo, incluso de su manipulación. La documentación debe ser clara y comprensible, orientando a los investigadores sobre el contexto, la metodología utilizada en la recolección de datos, y cualquier otro aspecto crítico que puede influir en su reutilización (Sales et al., 2020). El R1.3 menciona que si existen estándares de comunidad relevantes estos deben ser utilizados, en este caso sería estándares para términos específicos de biomecánica (Zaroso Gaya, 2024).

Cabe destacar que estos principios no son normas rígidas, sino directrices generales que han sido adaptadas para distintos tipos de datos y recursos, incluyendo ontologías y software (Benítez López et al., 2022). No constituyen un estándar técnico estricto, sino lineamiento para optimizar el acceso y uso de datos. Así mismo es necesario recalcar que FAIR no significa abierto, los datos pueden cumplir FAIR sin ser necesariamente abierto y esto genera confusión (Mons et al., 2017).

2.1.7.1. Métricas Validación de FAIRness

Desde el surgimiento de los principios FAIR, se ha debatido como evaluar que tan FAIR (FAIRness o FAIRificación) es un recurso y para ello se han desarrollado múltiples ideas. Ante ello, Wilkinson et al. (2019), el mismo responsable de la publicación de los principios FAIR, publicó una

metodología para la evaluación del nivel de FAIR de un recurso digital caracterizado por ser automático, *open source*, escalable y basarse en pilares como indicadores de madurez, pruebas de conformidad y un evaluador automático (Benitez Lopez et al., 2022). La misma está compuesta por 15 métricas las cuales se encuentran disponibles en GitHub. Dicha propuesta de indicadores de madurez dio inicio al surgimiento de múltiples propuestas, siendo *FAIR Data Maturity Model* del grupo RDA Alliance la primera. En 2020 publicaron una propuesta basado en el grado de FAIRness donde los indicadores se dividirían en 3 tipos, siendo 20 esenciales, 14 importantes y 7 útiles; formando un total de 41 indicadores (Research Data Alliance FAIR Data Maturity Model Working Group, 2020).

2. Metric Specification

2.1 Globally Unique Identifier

FIELD	DESCRIPTION
Metric Identifier	FsF-F1-01D
Metric Name	Data is assigned a globally unique identifier.
Description	A data object may be assigned with a globally unique identifier such that it can be referenced unambiguously by humans or machines. Globally unique means an identifier should be associated with only one resource at any time. Examples of unique identifiers of data are Internationalized Resource Identifier (IRI) ¹⁶ , Uniform Resource Identifier (URI) such as URL and URN, Digital Object Identifier (DOI), the Handle System, identifiers.org, w3id.org and Archival Resource Key (ARK). A data repository may assign a globally unique identifier to your data or metadata when you publish and make it available through its curation service.
FAIR Principle	F1. (Meta) data are assigned globally unique and persistent identifiers
CoreTrustSeal Alignment	R13. The repository enables users to discover the data and refer to them in a persistent way through proper citation
ASSESSMENT	
Requirement(s)	<ul style="list-style-type: none"> • Data identifier (IRI, URL) • List of globally unique identifier schemes
Method	Check if the identifier is specified based on a globally unique identifier scheme.
COMMENTS	
Related Resources: <ul style="list-style-type: none"> • Identifiers compiled by FAIRsharing, https://fairsharing.org/standards/?q=&selected_facets=type_exact:identifier%20schema • A list of Uniform Resource Identifier (URI) schemes, available in different formats, https://www.iana.org/assignments/uri-schemes/uri-schemes.xhtml#uri-schemes-1 • Uniform Resource Identifier (URI) Generic Syntax (RFC 3986), https://tools.ietf.org/html/rfc3986 	

Ilustración 7 Métrica F1 de Data Object Assessment Metric.

Fuente: Métrica F1 de Data Object Assessment Metric, extraído de Devaraju et al. (2020).

Tomando en consideración esas 14 métricas “importantes”, surgió FAIRsFAIR, un proyecto que en búsqueda de contribuir la adopción de los principios FAIR en la European Open Science Cloud (EOSC), publicaron nuevos indicadores nombrados como Data Object Assessment Metrics (Ilustración 7) e incluso crearon la conocida herramienta de validación F-UJI basado en los mismos.

Ante dichas propuestas surgieron FAIRplus, conjunto de indicadores de madurez y herramienta de evaluación, con el propósito de establecer una guía para obtener datos FAIR, la misma se tituló “The FAIRCookbook” (Rocca-Serra et al., 2023). El mismo se caracteriza por su clasificación por niveles de FAIRness, siendo del 0 (recurso que no se puede utilizar) al 5 (representando una gestión optimizada). Además otra particularidad es que los indicadores se nombran con las letras C (*Content-related*), H (*Hosting environment capabilities*) y R (*Format and Representation*) en función de la categoría (Zarzoso Gaya, 2024).

Como contribución más reciente con respecto a las métricas se encuentra FAIREST, donde se añaden más principios a los propuestos por Wilkinson et al. (2016), siendo estos Compromiso (*Engagement*), Conexión Social (*Social Connection*) y Confianza (Trust) (d’Aquin et al., 2023). Componiéndose así por 7 principios y un total de 52 métricas divididas en los mismos.

Table 1. Findability metrics.

Type	Metric	ID	Values	Description
Content support	Persistent identifiers	FCS1	y/n	A system is assessed yes (y) if it automatically assigns a persistent identifier to a research artefact.
	Generates DOIs	FCS2	y/n	A system is assessed yes (y) if, in addition to a possible unique identifier local to the system, it also supports the generation of a DOI for a research artefact.
	External identifiers	FCS3	y/n	A system is assessed yes (y) if it allows the import of identifiers of the research artefact, external to itself.
	Dereferenceable identifiers	FCS4	y/n	A system is assessed yes (y) if it provides a unique identifier for research artefacts that is dereferenceable to the artefact's location in the system.
Content access	Indexes and searches metadata	FCA1	y/n	A system is assessed yes (y) if it enables search over the metadata of the research artefacts.
	Indexes and searches content	FCA2	y/n	A system is assessed yes (y) if it enables search over the content of the research artefact.
	Advanced search features	FCA3	y/n	A system is assessed yes (y) if it provides advanced search features.

Ilustración 8 Métricas FAIREST.

Fuente: Extraído de (d’Aquin et al., 2023).

Aunque el marco FAIREST fue ideado específicamente para evaluar plataformas y repositorios digitales, su influencia sobre la construcción de *datasets* no es de menos. Si bien los principios

FAIR, están dirigidos directamente a la estructuración, descripción y publicación de los datos y metadatos, el marco FAIREST aporta una forma de evaluación sobre la infraestructura técnica e institucional que alberga dichos *datasets*. En este sentido, FAIREST no reemplaza a FAIR, sino que lo complementa y condiciona pues permite determinar si un repositorio ofrece las capacidades técnicas necesarias para que un *dataset* pueda efectivamente cumplir con los principios FAIR.

Por tanto, aunque las métricas FAIREST no se aplican directamente a los *datasets*, sí inciden indirectamente en su diseño. Por ejemplo, si se pretende cumplir con el principio FAIR de Localización (F1–F4), es indispensable que el repositorio soporte la asignación automática de identificadores persistentes y que estos sean desreferenciales (métricas FCS1 y FCS4 en FAIREST) (Ilustración 8). Si el repositorio no cuenta con esta funcionalidad, el *dataset*, por más cuidadosamente construido que esté, no podrá considerarse verdaderamente *findable*. Esto obliga al productor de datos a verificar, desde la etapa de planificación, las capacidades del repositorio donde publicará su recurso digital, lo que repercute en decisiones clave como el formato de los metadatos, el uso de vocabularios controlados o la inclusión de descripciones estructuradas.

Así mismo en el caso del principio de *Interoperability*, FAIR establece la necesidad de utilizar lenguajes formales y vocabularios compartidos (I1–I2). Sin embargo, FAIREST introduce métricas como IC1 e IC4, que permiten evaluar si el repositorio admite metadatos en formatos estandarizados (como Dublin Core o schema.org) y si habilita la personalización de esquemas de metadatos. Un *dataset* podría estar cuidadosamente anotado con términos de un vocabulario ontológico, pero si el repositorio no permite su exposición mediante estándares reconocidos o APIs adecuadas, esa interoperabilidad no se traducirá en una ventaja real para su reutilización.

Por lo que la implementación de FAIREST no orienta directamente la construcción del *dataset*, pero sí impone un conjunto de condiciones técnicas y estructurales que el desarrollador de datos debe considerar si desea garantizar la aplicación efectiva de los principios FAIR. Enfatizando la importancia de una buena selección de repositorio.

Pese a la existencia de las métricas expuestas previamente, aun debido a la forma ambigua de los principios FAIR, la medición del cumplimiento de estos aún se cuestiona. Sin embargo, ante

los trabajos mencionados, se han desarrollado herramientas de evaluación o validación con el fin de suplir dicha necesidad.

2.1.7.2. Herramientas de validación FAIRness

Es preciso definir que el proceso de FAIRificación de datos implica la conversión de datos crudos en *datasets* estructurados que cumplan con estos principios. Ante la necesidad de cuantificar el nivel de FAIRness de los recursos digitales, se han desarrollado múltiples herramientas, promoviendo así la existencia de tres tipos principales; las automáticas, manuales y semiautomáticas (Zarzoso Gaya, 2024).

Las evaluaciones automáticas son aquellas que se realizan por medio de sistemas computacionales, software o aplicaciones web, sin intervención humana directa. Este enfoque ha sido el más abordado en las propuestas surgidas frente a la necesidad de que los recursos puedan ser comprendidos e interpretados por sistemas computacionales.

En la Tabla 5 se detallan algunas de las herramientas automáticas más relevantes.

Tabla 5 Herramientas Automáticas Validación FAIRness.

Nombre	Modo de Uso	Descripción
The FAIR Maturity Evaluation Service	Aplicación Web	Herramienta desarrollada por Wilkinson et al. (2019) y disponible en Github.
FAIR Enough	Aplicación Web	Desarrollada por Maastricht U-IDS, evalúa el cumplimiento FAIR mediante 16 indicadores estandarizados, genera puntuaciones individuales por principio y recomendaciones prácticas (Majumder et al., 2021).
F-UJI	Aplicación Web	Desarrollado por el consorcio PANGAEA, mide el grado de cumplimiento FAIR en repositorios de datos científicos (Devaraju & Huber, 2024).
FAIR Checker	Aplicación Web	Desarrollada por el Institut Français de Bioinformatique (IFB) para evaluar FAIRness especialmente en el ámbito de la bioinformática (Gaignard et al., 2023).
FAIR eva	Código/Github	Desarrollada por el CSIC y que se basa en la propuesta de RDA explicada previamente (Aguilar Gómez & Bernal, 2023)

FOOPS!	Aplicación Web	Desarrollado por el Ontology Engineering Group de la Universidad Politécnica de Madrid, plataforma web de código abierto (Garijo et al., 2021).
FAIROs	Código/Github	Framework Python desarrollado por el Ontology Engineering Group (UPM) para crear y validar Objetos de Investigación FAIR, empaquetando datos, código y metadatos en contenedores estandarizados (RO-Crate/Bioschemas) (González et al., 2022).
HowFAIRIs	Código/Github	Creado por el Netherlands eScience Center, examina repositorios GitHub/GitLab mediante cinco criterios fundamentales: disponibilidad pública, licencia clara, registro en plataformas especializadas, archivo de citación y cumplimiento de checklist, generando una puntuación visual (0-5 estrellas)(Spaaks et al., 2022).
O'FAIRe	Código/Github	Evaluador especializado en recursos semánticos (ontologías, vocabularios) para dominios agroalimentarios y biocientíficos. Implementa métricas FAIR adaptadas, verificando persistencia de URIs, metadatos (DCAT/VOID) e interoperabilidad de endpoints SPARQL, generando informes en JSON-LD y dashboards visuales (Amdouni et al., 2022).
OpenAIRE FAIR	Portal Web	Es un servicio del proyecto europeo OpenAIRE para evaluar y mejorar la implementación de los principios FAIR en repositorios institucionales. Ofrece diagnósticos automatizados que analizan métricas técnicas como identificadores persistentes, políticas de acceso abierto y metadatos estandarizados, generando informes con recomendaciones específicas para repositorios (Research Data Alliance FAIR Data Maturity Model Working Group, 2020).

Fuente: Elaboración Propia utilizando información de Zarzoso Gaya (2024) y Benitez Lopez et al. (2022).

Entre estas, destaca F-UJI, desarrollada por Devaraju & Huber (2021) en el marco del proyecto europeo FAIRsFAIR. Esta herramienta transforma un conjunto de 17 métricas del FAIR Data Maturity Model de la RDA en pruebas prácticas que se ejecutan de manera automatizada sobre recursos digitales. F-UJI fue validada en dos rondas de evaluación sobre más de 2.500 objetos digitales pertenecientes a cinco repositorios, mostrando mejoras significativas en los niveles de cumplimiento FAIR tras aplicar las recomendaciones generadas. No obstante, los autores reconocen limitaciones técnicas, como la dificultad para evaluar objetos sin identificadores persistentes, la fragmentación de metadatos en distintos niveles y los desafíos

para interpretar la semántica de los recursos en evaluaciones puramente automáticas. Sin embargo, aun así, F-UJI constituye una herramienta de referencia para la evaluación sistemática y escalable del FAIRness, particularmente útil en contextos como el biomédico donde los *datasets* pueden presentar estructuras heterogéneas.

Se distinguen por ofrecer una evaluación más consistente y estandarizada, lo que garantiza que los recursos digitales analizados sean valorados de manera uniforme. Además, tienen la ventaja de procesar grandes volúmenes de datos en un periodo breve. No obstante, su uso puede verse limitado por el tipo de recurso evaluado. Por ejemplo, muchos sistemas automáticos requieren acceso directo al recurso para verificar su capacidad de ser encontrado (principio *Findable*), lo cual no siempre es posible si el recurso solo puede obtenerse mediante descarga desde un URL, imposibilitando así una evaluación completa. También es importante considerar que, aunque estas herramientas buscan ser objetivas, su diseño depende de la interpretación de los principios por parte de los desarrolladores, lo que supone cierto grado de subjetividad.

Las evaluaciones manuales, aunque más laboriosas, suelen proporcionar una evaluación más detallada y flexible pues permite su adaptación a los objetivos específicos del evaluador y al dominio particular del recurso. Generalmente se presentan como cuestionarios estructurados o matrices de evaluación donde cada principio es avaluado mediante el juicio y la formación del evaluador. Algunos ejemplos se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6 Herramientas Manuales Validación FAIRness.

Nombre	Descripción
FAIR Data Assessment Tool	Mediante un cuestionario estructurado se valora si los conjuntos cumplen con los principios FAIR.
FAIRDataBR	Desarrollado por la Universidad Federal da Paraíba (UFPB), utiliza indicadores y métricas específicas para medir el nivel de cumplimiento de sus conjuntos de datos.

Fuente: Elaboración Propia utilizando información de Zarzoso Gaya (2024) y Benítez López et al. (2022).

En cuanto a las herramientas manuales, su naturaleza interpretativa permite al evaluador aplicar criterios con mayor flexibilidad, aunque esto también implica una menor objetividad. Además, demandan un conocimiento profundo de los principios FAIR y del recurso por evaluar, lo que suele hacer que el proceso sea más lento. Su mayor fortaleza radica en su capacidad para

adaptarse a distintos formatos y contextos, permitiendo un juicio contextualizado de cada principio.

Finalmente, las herramientas híbridas son aquellas que, valga la redundancia, combinan elementos de evaluación automática con supervisión humana o permiten alternar entre ambas según las características específicas del recurso (Tabla 7). Este enfoque busca aprovechar la estandarización y velocidad del análisis automatizado, sin renunciar al juicio contextual necesario en dominios complejos.

Tabla 7 Herramientas Híbridas Validación FAIRness.

Nombre	Descripción
FAIRshake	Es una plataforma colaborativa que evalúa y certifica recursos digitales, mediante métricas estandarizadas. Permite a usuarios y instituciones puntuar la calidad técnica, documentación y usabilidad de sus recursos, con opción a revisiones por pares (Clarke et al., 2019).
Autofair	Es una plataforma en línea que ofrece herramientas automatizadas para evaluar y mejorar la calidad de recursos digitales en investigación (Landbridge et al., 2024).
Data Object Assessment Metrics	Las métricas propuestas por FAIRsFAIR, que se han explicado en el apartado anterior, también incluyen descripciones sobre como evaluar las métricas, al igual que en las de RDA. Se proporcionan directrices para evaluarlas tanto de forma manual, mediante cuestiones, y de forma automática (Zarzoso Gaya, 2024).

Fuente: Elaboración Propia utilizando información de Zarzoso Gaya (2024).

Una de las más representativas es FAIRshake, presentada por Clarke et al. (2019), la cual ha sido utilizada para evaluar más de 30.000 objetos digitales en proyectos como FAIRsharing, NCBI, SmartAPI y el NIH Common Fund. Su principal desventaja es que para su uso es necesario contar con experiencia y conocimiento previo para definir métricas apropiadas, pero a pesar de ello, su enfoque visual, explicativo y participativo lo sigue posicionando como una de las herramientas más valiosas para comunidades interdisciplinarias.

A raíz de ello, resulta relevante el enfoque propuesto por Zarzoso Gaya (2024) quien desarrolla un método general para la evaluación FAIR basado en la combinación estructurada de herramientas automáticas como F-UJI y FAIR-Checker, manuales como el RDA Maturity Grid y semiautomáticas como FAIRshake. Este método fue validado sobre la base de datos genómica ClinVar, demostrando que el enfoque híbrido mejora la sensibilidad y aplicabilidad de la

evaluación, especialmente en dominios con estructuras no estándar o datos sensibles. Además, Zarzoso propone un modelo conceptual en UML para representar el recurso evaluado, lo que permite adaptar la evaluación a distintos contextos desde una lógica de *Design Science*.

Como puede observarse, la elección de la herramienta de validación FAIR debe considerar el tipo de recurso, el nivel de automatización deseado, la disponibilidad de metadatos estructurados y el objetivo de la evaluación.

A partir de estas herramientas, en los últimos años, diversos estudios han abordado la implementación práctica de los principios FAIR en dominios complejos como la salud, la bioinformática, la genómica o el aprendizaje automático. Estas investigaciones han dado lugar a propuestas metodológicas, herramientas técnicas y flujos de trabajo orientados a operacionalizar la FAIRificación de recursos digitales, permitiendo así su reutilización efectiva en contextos científicos reales.

Uno de los dominios donde la FAIRificación ha adquirido mayor relevancia es el clínico, debido a la sensibilidad de los datos y la necesidad de garantizar interoperabilidad semántica y privacidad. En este contexto, Sinaci et al. (2020) proponen un flujo de FAIRificación específicamente diseñado para datos clínicos, combinando validación manual con automática y utilizando el estándar HL7 FHIR para estructurar los recursos. Aunque el enfoque presenta una arquitectura robusta, carece de validación empírica. Esta limitación fue abordada en su trabajo posterior Sinaci et al. (2023), donde los autores desarrollan la herramienta Data Curation Tool (DCT), que permite a usuarios no técnicos transformar recursos clínicos en objetos FAIR. Esta metodología fue evaluada con datos reales de dos instituciones sanitarias, alcanzando altos niveles de cumplimiento según el FAIR Data Maturity Model de la RDA.

En la misma línea, Gouthamchand et al. (2021) presentan una metodología para FAIRificar datos clínicos estructurados en entornos federados. A través de una herramienta semántica con interfaz gráfica, permiten convertir archivos locales en representaciones RDF, utilizando ontologías como NCIT y ROO. El sistema se apoya en el paradigma Personal Health Train y la plataforma Vantage6, que posibilita el análisis sin mover los datos. Este enfoque fue aplicado en un caso de cáncer de cabeza y cuello, preservando la privacidad institucional y facilitando la colaboración entre centros. Por su parte, Liao et al. (2023) desarrollan el FAIR Data Cube (FDCube),

una infraestructura integrada para datos multi-ómicos en salud, que combina el uso del FAIR Data Point (FDP), el modelo ISA, los estándares Phenopackets y el componente Vantage6 para análisis federado. Su validación se realizó en el marco del proyecto Trusted World of Corona (TWOC), donde se FAIRificó un *dataset* clínico y biomolecular de pacientes COVID-19.

En cuanto a herramientas accesibles para la FAIRificación de metadatos clínicos, Wijnbergen et al. (2024) introducen el FAIR Data Point Populator (FDPP), que permite cargar archivos Excel estructurados y convertirlos automáticamente en metadatos RDF publicados en un FDP a través de GitHub. Esta herramienta fue validada en un taller con biobancos del programa EJP RD, y se destaca por su facilidad de uso, especialmente en entornos sin infraestructura técnica compleja.

En dominios como el aprendizaje automático, la bioinformática o la gestión de objetos digitales compuestos, también se han desarrollado metodologías aplicadas. Lin et al. (2022) adaptan el marco de GO FAIR para *datasets* y modelos de machine learning, utilizando tanto evaluaciones automáticas (como F-UJI) como manuales (modelo de madurez RDA). Su estudio demuestra empíricamente que la FAIRificación aumenta la reutilización potencial del *dataset*, mejorando de un 19.1 % inicial a un 83.0 % tras la aplicación de licencias abiertas, identificadores persistentes y ontologías.

En un enfoque más genérico, Jacobsen et al. (2020) proponen un flujo de trabajo en siete pasos, desde la definición del objetivo FAIR hasta la evaluación final del recurso. Esta metodología, diseñada para ser adaptada en múltiples contextos, enfatiza la necesidad de evaluación iterativa, participación interdisciplinaria y uso combinado de herramientas automáticas y análisis experto.

Los recursos compuestos como los Research Objects (ROs) también han sido foco de evaluación. González et al. (2022) presentan la herramienta FAIROs, que integra validadores existentes (F-UJI, FOOPS!, SOMEF) para evaluar *datasets*, software y ontologías dentro de un RO. En su aplicación a 168 *workflows* de la plataforma WorkflowHub, se obtuvieron puntajes bajos en interoperabilidad, debido a la carencia de metadatos ricos. De manera complementaria, Benitez Lopez et al. (2022) realiza un estudio con 167 ROs, mostrando alta variabilidad en la FAIRness, y señalando limitaciones como la dependencia de herramientas externas y la dificultad de extrapolar el enfoque a otros dominios. Ambos trabajos destacan la necesidad de distinguir entre cumplimiento técnico y valor científico real.

Una dimensión adicional es la FAIRificación de los propios procesos computacionales. Goble et al. (2020) argumentan que los *workflows* deben considerarse objetos FAIR, y no solo herramientas de análisis. Propone criterios para evaluar su capacidad de ejecución, trazabilidad y documentación, utilizando sistemas como Galaxy, *Nextflow* o CWL, y destaca que las evaluaciones automáticas deben ser complementadas con indicadores sobre la calidad del código y la proveniencia computacional. Por último, Da Silveira et al. (2024) aplican una evaluación combinada automática (F-UJI y FAIR-Checker) y manual a diez bases de datos químicas. Sus resultados evidencian grandes discrepancias entre ambas evaluaciones, subrayando que muchos elementos FAIR relevantes no son detectados por herramientas automáticas. El estudio concluye que una evaluación precisa del FAIRness requiere integrar métricas técnicas con análisis contextual, algo directamente aplicable al dominio biomédico.

En conjunto, estos estudios muestran cómo los principios FAIR han evolucionado desde una formulación conceptual hasta convertirse en una práctica aplicable mediante herramientas, flujos de trabajo y plataformas concretas. A pesar de los avances, persisten limitaciones técnicas, metodológicas y contextuales: desde la incapacidad de las herramientas automáticas para interpretar correctamente la semántica de ciertos recursos, hasta la dificultad de adaptar flujos FAIR a dominios heterogéneos como los biomédicos o los datos sensoriales. Estas limitaciones, evidenciadas en los estudios revisados, refuerzan la necesidad de propuestas que equilibren automatización, intervención experta y adecuación contextual, como la que se plantea en esta tesis. En particular, la estructuración y validación FAIR de datos clínicos derivados de sensores inerciales exige una adaptación metodológica que tenga en cuenta tanto los estándares técnicos como las condiciones reales de uso, publicación y reutilización en el ámbito de la salud.

2.2. PROBLEMÁTICA

El envejecimiento poblacional representa uno de los desafíos sociales más significativos del siglo XXI, con implicaciones sanitarias a nivel global, sociales y económicas (ONU, 2022). En 2021, las personas mayores de 65 años representaban el 9,54% de la población mundial, casi duplicando el porcentaje registrado en 1960, lo que refleja un incremento exponencial de 150 millones a 747 millones de personas en ese periodo (Mena Roa, 2022). Este crecimiento continuará acelerándose, para 2050 se proyecta que más del 22% de la población mundial será mayor de 60 años, pasando

de 1.000 millones en 2020 a 2.100 millones en 2050, mientras que la población de mayores de 80 años se triplicará hasta llegar a 426 millones. Aunque inicialmente este fenómeno predominaba en países de altos ingresos, actualmente afecta de manera acelerada a países de ingresos bajos y medianos, los cuales albergarán dos tercios de la población mayor para 2050, lo que genera desafíos en infraestructura y políticas de salud en contextos con recursos limitados (OMS, 2024).

En el contexto europeo, el caso de España es particularmente representativo pues el envejecimiento es especialmente crítico, en 2023 el 22% de la población era mayor de 65 años, y para 2050 se proyecta que una de cada tres personas supere esta edad (34%) (INE, 2024). Sin embargo, solo el 50% de esta población vive en condiciones de buena salud, enfrentando una alta prevalencia de enfermedades crónicas y deterioro funcional, incluidas la fragilidad y el riesgo de dependencia (Alonso Bouzón & Rodríguez Mañas, 2021). Dicho deterioro, es uno de los principales desafíos asociados al envejecimiento pues impacta al 18% de las personas mayores de 65 años y hasta al 38% de los mayores de 85 años (Allison et al., 2021; Úrsula Segoviano, 2024).

La fragilidad, definida como un síndrome geriátrico caracterizado por la disminución de la capacidad para enfrentar factores estresantes, incrementa el riesgo de dependencia, hospitalización y mortalidad (Fried et al., 2001). Aunque el envejecimiento es inevitable, la fragilidad puede prevenirse e incluso revertirse mediante intervenciones adecuadas. Este síndrome también tiene un impacto económico considerable: en España, el costo anual por persona frágil asciende a 2.500 euros, el doble que para una persona mayor sin fragilidad (Úrsula Segoviano, 2024).

Aunque herramientas como la escala de FRAIL y el fenotipo de Fried han demostrado ser eficaces en la identificación de personas en riesgo de discapacidad (Bertolazzi et al., 2024), su aplicación está limitada en países como Honduras, donde la detección temprana de la fragilidad es prácticamente inexistente, lo que incrementa los niveles de dependencia y la discapacidad en la vejez (OMS, 2021). La identificación de la fragilidad es crucial para implementar intervenciones adecuadas que mejoren los resultados de salud y la calidad de vida de los adultos mayores (Ghosh et al., 2023).

En América Latina, aunque el proceso de envejecimiento avanza a un ritmo diferente, los desafíos son igual o más preocupantes. Se prevé que la proporción de personas mayores de 60

años pasará del 8% en 2020 al 14% en 2030, lo que plantea desafíos en términos de infraestructura y políticas de salud (Keating et al., 2021). Honduras, aunque con un envejecimiento menos acelerado que España, también enfrenta un futuro demográfico preocupante. En 2023, solo el 5,3% de la población tenía más de 65 años, pero este grupo está creciendo rápidamente. Además, la esperanza de vida saludable ha disminuido de 61,2 años en 2000 a 60 años en 2021, reflejando las limitaciones del sistema sanitario para satisfacer las necesidades de esta población (Banco Mundial, 2021). Cerca del 40% de los adultos mayores carece de acceso regular a servicios médicos, agravando su vulnerabilidad (Cantú-Martínez, 2022).

Las intervenciones basadas en programas de actividad física han demostrado ser una vía efectiva para contrarrestar el deterioro funcional (Bernabei et al., 2022). Ensayos clínicos han comprobado la efectividad del programa de ejercicio multicomponente VIVIFRAIL en mejorar la capacidad funcional, cognitiva y muscular en adultos mayores frágiles (Casas-Herrero et al., 2022). Aun así, dichos beneficios han sido validados en su mayoría en contextos supervisados, limitando el conocimiento disponible sobre la adherencia y su eficiencia si se implementa de forma autónoma. Esta limitación es especialmente importante debido al creciente número de personas mayores viviendo solas o con dificultades para trasladarse a centros especializados.

A partir de ello, el desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan una evaluación funcional autónoma se vuelve sumamente importante. El uso de IMUs, combinados con pruebas estandarizadas como el SPPB y ejercicios como VIVIFRAIL, ofrece un enfoque objetivo y no invasivo para cuantificar parámetros de movilidad y detectar tempranamente signos de fragilidad. Sin embargo, actualmente no existen repositorios abiertos con datos inerciales obtenidos durante la ejecución de estas pruebas, lo que dificulta la validación externa, compromete la reproducibilidad y limita el desarrollo de modelos computacionales que permitan su interpretación.

El proyecto MOTIVA, del cual el CTB es participe, ha recopilado un volumen considerable de datos inerciales durante la aplicación del SPPB y VIVIFRAIL en adultos mayores. Sin embargo, estos datos no han sido organizados ni documentados según los principios FAIR, lo que es esencial para asegurar la calidad, transparencia y accesibilidad de los datos científicos. Impidiendo así su publicación inmediata y su reutilización por parte de la comunidad científica y tecnológica.

La adopción de los principios FAIR y su correcta implementación permite no solo la interoperabilidad con otras plataformas y herramientas, sino también la reutilización en nuevas investigaciones (Méndez, 2021). No obstante, lograr dicha estructura implica superar retos técnicos, éticos y legales, relacionados con la gestión de datos, el uso de licencias abiertas y la documentación estandarizada (Rovelli, 2023). Factor que se ve limitado debido a la falta de formación en buenas prácticas de gestión de datos y la escasa disponibilidad de marcos de evaluación (Mayer et al., 2021).

Por lo tanto, la falta de *datasets* estructurados y validados conforme a los principios FAIR, especialmente en el área de la evaluación funcional con IMUs, representa una limitación significativa para el avance de soluciones digitales enfocadas en el envejecimiento saludable. La disponibilidad de un conjunto de datos bien organizado, documentado y accesible, con metadatos estandarizados, vocabularios controlados y licencias claras, resulta indispensable para potenciar la investigación, facilitar la creación de modelos de inteligencia artificial y promover la integración de tecnologías que contribuyan a la independencia funcional de la población mayor.

2.3. IMAGEN INTEGRADORA

Tal como se mencionó anteriormente, los datos que conforman la base de datos son registros inerciales obtenidos mediante la implementación del proyecto MOTIVA, en el cual personas adultas mayores realizaron la prueba SPPB y ejercicios del programa VIVIFRAIL.

La recolección de datos resultó en la organización de la información en dos tipos de archivos. Por un lado, la carpeta denominada *app* contiene archivos en formato texto (.txt) que registran las marcas de inicio y finalización de cada ejercicio, indicadas manualmente por el evaluador durante la sesión. Por otro lado, la carpeta *dispositivos* contiene los registros inerciales completos en formato .csv sin segmentación previa. La relación entre archivos es debido a que las marcas temporales registradas en la carpeta *app* permiten identificar los intervalos específicos dentro de los datos brutos almacenados en la carpeta *dispositivos*.

Dado que se realizan múltiples ejercicios, es posible utilizar los datos obtenidos en múltiples investigaciones, abordándolo con distintos enfoques como ser el equilibrio o velocidad de la marcha. Sin embargo, para que dichos datos puedan ser reutilizados, estos deben contar con una estructura adecuada, en este caso, que cumpla con los criterios FAIR.

El proceso da inicio con un análisis del estado inicial de los datos donde se identifican las características, limitaciones y potencial de los registros recopilados. Posteriormente, se realiza la curación semántica y se definen los metadatos utilizando el estándar DDI, asegurando la correcta descripción y organización de la información. Seguidamente, se implementa la interconectividad, el licenciamiento y la agregación de metadatos siguiendo las recomendaciones FAIR. Finalmente, se evalúa el grado de cumplimiento de los principios mediante una herramienta automatizada; FAIR-checker, y una herramienta híbrida, la cual consta en el desarrollo de un código propio basado en las métricas e indicadores propuestos por Wilkinson et al. (2018), quien es el autor de los principios como tal. Los resultados de dichas evaluaciones permiten identificar áreas de mejora y proponer acciones dirigidas al CTB, para procurar un cumplimiento pleno de los principios FAIR al momento de la futura publicación del *dataset*.

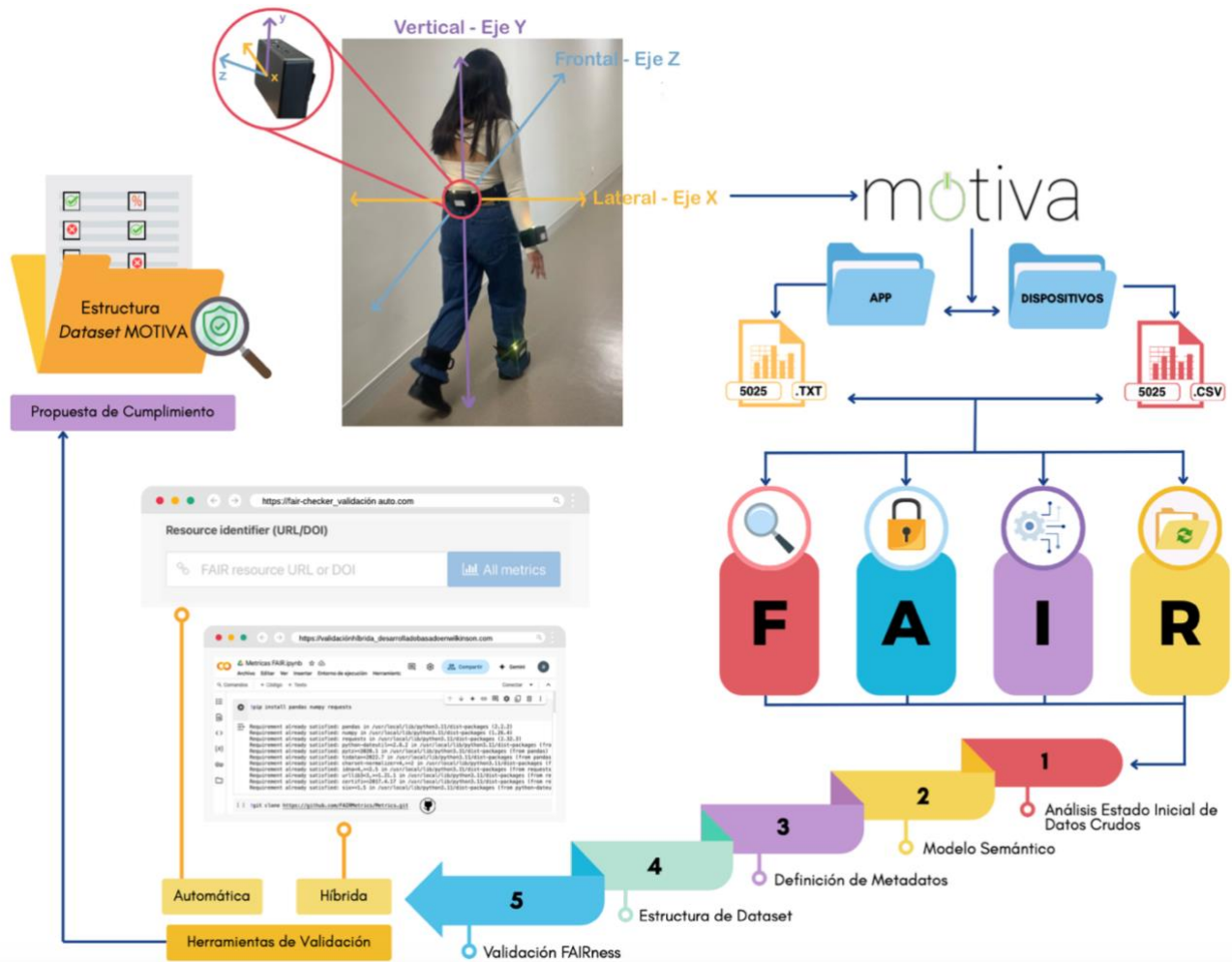


Ilustración 9 Imagen integradora.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4. CUADRO DE LIMITACIONES

Se analizan estudios que proponen metodologías para la implementación y validación de los principios FAIR, así como diversas herramientas desarrolladas para evaluar su cumplimiento, cuyo resumen se presenta en la Tabla 8. Aunque no se identificaron aplicaciones específicamente orientadas a datos inerciales, sí se encontraron enfoques aplicados a distintos tipos de datos que pueden servir como referencia metodológica. Asimismo, numerosos estudios coinciden en la necesidad de adoptar un enfoque de validación híbrido para garantizar una evaluación más robusta.

Tabla 8 Limitaciones.

Autores	País	Tipo	Limitación	Relevancia
Lin et al., 2022	Estados Unidos	Metodología	Falta de estándares FAIR en HPC y problemas con evaluación automatizada.	No hay un estándar claro para HPC al igual que con datos inerciales, propuesta de metodología de validación híbrida (manual + automatizada).
Sinaci et al., 2020	Turquía, España, Alemania, Bélgica	Metodología Conceptual	El proceso de FAIR-ificación propuesto por GO FAIR no es aplicable universalmente y no fue validado.	Propuesta de metodología adaptando la estándar por GO FAIR específicamente a datos clínicos.
Devaraju & Huber, 2021	Australia, Alemania	Herramienta de Validación	F-UJI es una herramienta automatizada pero no autónoma, dependiente de servicios externos, con limitaciones en <i>datasets</i> restringidos y adaptable según el repositorio.	Herramientas como F-UJI requieren adaptación según el tipo de dato y siempre demandan intervención manual por factores cualitativos. No evalúan datos no públicos.
Yete et al., 2023	Estados Unidos	Herramienta de Validación	El proceso automatizado desarrollado para evaluar FAIR y CARE debe adaptarse específicamente al repositorio y tipo de dato.	Respalda la necesidad de diseñar un proceso adaptado a datos inerciales.
Mons et al., 2017	Países Bajos	Conceptual	No provee metodología de implementación, pero es un análisis sobre la implementación de FAIR dentro del contexto de la EOSC.	Argumenta que los principios carecen de especificidad técnica, los datos pueden ser FAIR, aunque no sean completamente abiertos.

Autores	País	Tipo	Limitación	Relevancia
Nijse et al., 2022	Países Bajos	Metodología / Herramienta	FAIR Data Station está diseñada para metadatos en estudios ómicos, limitando su uso en otros datos, como los inerciales. Su generación mediante plantillas de Excel favorece errores humanos y problemas de integridad.	Pauta sobre construcción de metadatos al ser una herramienta para facilitar su creación y validación utilizando Excel.
Benhamed et al., 2023	España, Países Bajos, República Checa	Metodología / Herramienta	La herramienta FAIR Data Point requiere ingreso manual inicial de metadatos, introduciendo posibles errores humanos y limitando la automatización total del proceso.	Refuerza la necesidad de complementar métodos automáticos con validaciones manuales.
Liao et al., 2023	Países Bajos	Metodología / Herramienta	FAIR Data Cube depende de estándares específicos para datos ómicos (ISA, Phenopackets), lo que limita su uso en otros datos, como los inerciales, y requiere captura manual inicial.	Confirma la necesidad de definir un esquema propia de metadatos FAIR para datos inerciales, también demuestra la necesidad de desarrollar un método de validación híbrido.
Gouthamchand et al., 2021	Países Bajos	Metodología / Herramienta	Las ontologías utilizadas (NCIT, ROO) no cubren los conceptos requeridos por lo que crearon términos adicionales.	Desarrollar o adaptar ontologías y términos específicos para describir los datos inerciales.
Zarzoso Gaya, 2024	España	Validación	La estructura técnica del <i>dataset</i> ClinVar dificultó su evaluación automática con F-UJI.	Corroborar desde el inicio la estructura de los metadatos previniendo dificultades técnicas que podrían surgir durante la evaluación automática.
Benitez Lopez et al., 2022	España	Validación	Utilizó F-UJI y FOOPS pero no cubrieron las métricas cualitativas, requiriendo complementarse con validaciones manuales.	Justifica la combinación de métodos automáticos y manuales para asegurar FAIRness.
Jacobsen et al., 2020	Noruega	Metodología	Flujo genérico de FAIRificación de 7 pasos, no aborda detalles específicos de <i>datasets</i> inerciales.	Es necesario adaptar dicha propuesta al tipo de datos; inerciales.
(Da Silveira et al., 2024)	Luxemburgo	Validación	Dificultades de F-UJI y FAIR-Checker debido a metadatos mal estructurados, falta de identificadores únicos.	Importancia de los formatos estándar para metadatos e identificadores únicos.

Autores	País	Tipo	Limitación	Relevancia
González et al., 2022	España	Validación	Método FAIROs depende del número desigual de pruebas automáticas por recurso y carece de validadores específicos para recursos no estándar.	Evitar desequilibrios en pruebas para datos inerciales, considerar desarrollar validadores específicos o implementarlo con revisiones manuales.
Goble et al., 2020	Reino Unido	Metodología / Validación	Las métricas y herramientas FAIR no estaban diseñadas para evaluar <i>workflows</i> científicos, requiriendo adaptar métricas generales y realizar evaluaciones manuales para elementos técnicos no automatizables.	Pauta para la adaptación de las métricas a datos inerciales y fomenta la validación híbrida.
Sinaci et al., 2023	Turquía, España y Alemania	Metodología / Herramienta	Data Curation Tool para transformar datos clínicos en <i>dataset</i> FAIR, requiere conocimiento avanzado del estándar HL7 FHIR y corroborar su validez.	Metodología sobre cómo partir de datos crudos para generar <i>datasets</i> FAIR.
Clarke et al., 2019	Estados Unidos, Reino Unido, Países Bajos	Herramienta de Validación	FAIRshake permite métricas personalizadas, pero genera interpretaciones divergentes y falta de uniformidad en las evaluaciones, requiere de intervención manual.	La validación automatizada siempre requiere intervención manual de forma general y por las métricas personalizadas.
Wijnbergen et al., 2024	Países Bajos	Metodología / Herramienta	FDPP utiliza DCAT como estándar de metadato, limitando su aplicabilidad a ciertos datos. Su dependencia de GitHub puede ser una barrera para usuarios sin experiencia.	Si DCAT se usa para FAIRificar datos inerciales, es crucial evaluar si necesita complementarse con estándares como SSN/SOSA para una representación más detallada de los sensores.

Fuente: Elaboración Propia

III. OBJETIVOS

En este capítulo, se definen los objetivos del proyecto de investigación, los cuales actuarán cómo modelo de referencia para la metodología que se llevará a cabo durante el desarrollo del presente estudio.

3. 1. OBJETIVO GENERAL

Estructurar un *dataset* basado en los principios FAIR con datos inerciales recopilados durante la evaluación funcional de personas mayores con SPPB y VIVIFRAIL en el proyecto MOTIVA, procurando su adecuada organización, documentación y validación para su reutilización en la comunidad científica.

3. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Establecer un esquema de metadatos y estructura de archivos que garantice la correcta organización y descripción del *dataset* inercial, facilitando su localización y accesibilidad.
- 3.2.2. Implementar formatos de datos estandarizados y vocabularios controlados para asegurar la interoperabilidad del *dataset* con diversas herramientas y plataformas de investigación.
- 3.2.3. Documentar el *dataset* mediante guías de usuario, descripción detallada de las variables y asignación de licencias de uso abiertas que permitan su reutilización por terceros.
- 3.2.4. Evaluar el cumplimiento de los principios FAIR en el *dataset* utilizando metodologías de validación manual y automática, generando indicadores cuantificables sobre su grado de alineación con los estándares FAIR.
- 3.2.5. Elaborar propuesta de acciones orientadas a mejorar FAIRness del *dataset*, previo a su publicación, fundamentada en los resultados de la evaluación híbrida realizada.

IV. MÉTODOS

En el presente capítulo, se describen los métodos empleados para llevar a cabo la presente investigación. Procurando que los objetivos previamente establecidos se cumplan de forma efectiva a través de su implementación, se presenta un panorama general de la metodología dando inicio con el enfoque de la investigación y las técnicas e instrumentos utilizados. Como parte complementaria, se detalla un cronograma de actividades que proporciona un marco temporal para la realización del proyecto.

4. 1. ENFOQUE

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación se caracteriza por su enfoque mixto, integrando métodos tanto cuantitativos como cualitativos. El enfoque cuantitativo se fundamenta en el uso de datos inerciales previamente recolectados en el marco del proyecto MOTIVA, los cuales serán analizados y organizados mediante herramientas y métricas estandarizadas para evaluar el cumplimiento de los principios FAIR. Así mismo, se incorporan métricas cuantitativas al implementar dichas herramientas en el proceso de validación. Por su parte, el enfoque cualitativo hace referencia al proceso de documentación y estructuración de los datos con el objetivo de optimizar su accesibilidad y reutilización, en otras palabras, la metodología propuesta para con el cumplimiento de los principios FAIR.

El estudio se desarrolla bajo un diseño no experimental, transversal y metodológico. Debido a que no se realizan nuevas mediciones ni se manipulan variables independientes; en su lugar, se trabaja con datos inerciales previamente adquiridos en el marco del proyecto MOTIVA, se considera no experimental. Se considera transversal debido a que el análisis se realiza en un momento determinado. Considerando el objetivo de proponer, aplicar y validar una metodología para la FAIRificación de un *dataset* con datos inerciales, valga la redundancia, es de tipo metodológica. Un resumen de estos aspectos metodológicos se presenta en la Tabla 9.

El alcance de la investigación es descriptivo pues busca describir el proceso mediante el cual se cumplirán los objetivos, las herramientas que se utilizarán y los resultados obtenidos. Sin embargo, también es aplicado pues no es teórico debido a su énfasis en resolver el problema sobre la FAIRificación del *dataset* de MOTIVA.

La muestra es no probabilística por conveniencia, integrada por adultos mayores que participaron voluntariamente en el proyecto MOTIVA tras firmar el consentimiento informado. Los criterios de inclusión se enlistan en la sección 4.3.

Tabla 9 Enfoque metodológico.

Enfoque	Mixto
Tipo de diseño	No experimental, Transversal y Metodológico
Alcance	Descriptivo y Aplicado
Muestra	No Probabilística por Conveniencia

Fuente: Elaboración Propia

4. 2. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS APLICADOS

Diversas herramientas y técnicas fueron empleadas en las distintas fases del desarrollo del presente estudio, destacando en la organización, análisis y estructuración de los datos, así como en la creación de los metadatos. Entre los principales se encuentra el lenguaje de programación Python con sus librerías especializadas y el entorno de ejecución de Google Colaboratory.

4.2.1. Google Colab

Google Colab, o Colaboratory, es una plataforma de Google que permite a los usuarios ejecutar código de Python en un entorno basado en la nube. Esta herramienta es especialmente popular entre investigadores, estudiantes y profesionales en el campo del aprendizaje automático y la ciencia de datos, debido a su accesibilidad y la capacidad de colaborar en tiempo real (Bisong, 2019). Se empleo para el procesamiento de los datos y la elaboración del archivo Procesados, creando un documento que facilita la comprensión de la estructura de los ficheros provenientes de la aplicación.

4.2.2. Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel que ha aumentado en gran cantidad su popularidad debido a su simplicidad y versatilidad. Su extenso ecosistema de bibliotecas facilita la visualización y el análisis de datos, lo que lo convierte en una herramienta clave en entornos de ciencia de datos, inteligencia artificial y desarrollo web. A diferencia de otros lenguajes, Python permite escribir soluciones con menos líneas de código, optimizando el desarrollo y acercándolo a aplicaciones reales de forma más eficiente.

Entre las bibliotecas utilizadas se encuentran las siguientes:

- *Pandas*: Biblioteca de código abierto para la manipulación y análisis de datos estructurados. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos tabulares de forma eficiente la ha consolidado como una herramienta indispensable para científicos de datos (Chandel et al., 2023).
- *pyDDI*: es una herramienta diseñada para trabajar con metadatos en el contexto de la documentación de datos. Su principal objetivo es facilitar la creación, manipulación y validación de metadatos siguiendo el estándar DDI (Data Documentation Initiative). Este estándar es ampliamente utilizado en las ciencias sociales y otras disciplinas para describir datos de investigación, lo que permite mejorar la gestión, el intercambio y la preservación de los datos (Jiménez González, 2020).
- *XML (Extensible Markup Language)*: se ha convertido en un formato estándar para el intercambio de datos en diversos sistemas. La biblioteca `xml.etree.ElementTree` es una de las implementaciones nativas de Python, que ofrece una interfaz sencilla y eficaz para leer, escribir y modificar documentos XML. Es especialmente valiosa en aplicaciones que requieren la manipulación de datos estructurados, como los sistemas de bases de datos y la interoperabilidad entre aplicaciones (Dysarz, 2020).

4.2.3. Canva y Datawrapper

Canva es una plataforma de diseño gráfico en línea que permite a los usuarios crear una amplia variedad de contenido visual, como presentaciones, infografías, carteles, publicaciones para redes sociales y más, de manera intuitiva y accesible (Ramírez Vilchez et al., 2022). Por lo que se utilizó para la creación de las ilustraciones anexadas en la presente investigación. Así mismo, Datawrapper, una herramienta en línea diseñada para facilitar la visualización de datos estadísticos de manera creativa y concisa.

4.2.4. Esquema DDI

Desde su lanzamiento en 1995, ha evolucionado para reflejar un marco que permite una descripción detallada de los datos, facilitando la interoperabilidad y el uso en contextos académicos y de investigación. Este esquema es particularmente valioso en la creación de metadatos descriptivos que abarcan diversos aspectos de la investigación, incluyendo el contexto,

el proceso y los métodos utilizados en la generación de los datos, lo que refuerza su aplicación en estudios longitudinales y en la gestión de datos de investigación (DDI Alliance, 2024).

4.2.5. Dublin Core

Es un conjunto estándar de metadatos diseñado para describir recursos de información como documentos, videos, imágenes, servicios y otros artefactos digitales. Su objetivo principal es proporcionar un modelo de metadatos simple que pueda ser adoptado por diversas comunidades para mejorar la interoperabilidad semántica (Blanco-Rivera, 2021).

4.2.6. FAIR-Checker

Desarrollado por el Institut Français de Bioinformatique (IFB), es una herramienta especializada en evaluar el cumplimiento FAIR de recursos bioinformáticos. Analiza automáticamente *datasets* y servicios mediante métricas técnicas (identificadores persistentes, metadatos estructurados como BioSchemas, y APIs interoperables), generando informes con puntuaciones por principio y recomendaciones específicas para mejorar la calidad FAIR en el ámbito biomédico (Gaignard et al., 2023).

4.3. POBLACIÓN

Dado que el presente estudio no implicó la recolección de nuevos datos, sino la estructuración de un *dataset* FAIR a partir de información previamente obtenida, la muestra de esta investigación se define como el subconjunto de datos inerciales empleados en la construcción del *dataset*. No obstante, resulta fundamental especificar los criterios de inclusión y exclusión aplicados durante la fase de recolección de datos de MOTIVA, dado que estos determinaron la población de la cual se originan los registros estructurados en el presente estudio.

Dichos criterios consideraban a individuos de 70 años o más, con una puntuación igual o superior a 4 en la SPPB y con la capacidad de deambular, ya sea de manera independiente o con asistencia. En contraste, se excluyeron los registros de aquellos participantes que no otorgaron su consentimiento informado, que no lograron comprender las instrucciones del estudio o que presentaban contraindicaciones clínicas que desaconsejaban la realización de actividad física. Asimismo, fueron descartados los datos de personas con diagnóstico de patologías que, según el criterio del equipo investigador, pudieran representar un riesgo durante la evaluación.

La Ilustración10 muestra una representación de como los participantes realizaron la prueba SPPB estándar con sensores colocados en la parte baja de la espalda, muñecas y tobillos.



Ilustración 10 SPPB Prueba de velocidad de la marcha en 3 metros.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que estos criterios fueron definidos exclusivamente durante la fase de recolección de datos del proyecto MOTIVA y no en el presente estudio. En consecuencia, la información analizada en esta investigación proviene íntegramente de datos previamente recopilados en dicho proyecto.

4. 4. MÉTODO DE ESTUDIO

En la presente sección se describen las actividades y los pasos llevados a cabo para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente estudio. Al final de la sección, la Ilustración 14 proporciona una representación visual del proceso metodológico aplicado.

4.4.1 Análisis del estado inicial del *dataset* (RAW Data)

En la primera fase del proceso de FAIRificación, se llevó a cabo un análisis del estado inicial de los datos por ser utilizados en el presente estudio, los cuales, como se ha mencionado en múltiples ocasiones, provienen del proyecto MOTIVA. La Tabla 9 especifica el número identificador de cada sensor junto con su ubicación en el cuerpo del sujeto evaluado.

Asimismo, los datos no contaban con identificadores persistentes, ni se encontraban estructurados según estándares semánticos o vocabularios controlados. El acceso a los archivos era interno y restringido, sin mecanismos de publicación, indexación ni políticas de licenciamiento claramente definidas. Esta evaluación inicial permitió reconocer las limitaciones existentes con relación a los principios FAIR de los datos, lo que justificó la necesidad de aplicar un proceso de FAIRificación estructurado para mejorar su gestión y aprovechamiento en investigaciones futuras.

Tabla 10 Ubicación de IMUs.

No. de Sensor	Posición Sensor en el Cuerpo
1	WAIST (Cintura)
2	RIGHT ARM (RA) (Brazo derecho)
3	LEFT ARM (LA) (Brazo izquierdo)
4	RIGHT FOREARM (RF) (Antebrazo derecho)
5	LEFT FOREARM (LF) (Antebrazo izquierdo)
6	RIGHT THIGH (RT) (Muslo derecho)
7	LEFT THIGH (LT) (Muslo izquierdo)
8	RIGHT CALF (RC) (Pantorrilla derecha)
9	LEFT CALF (LC) (Pantorrilla izquierda)

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Modelo Semántico (Curación y Validación de Datos)

Se procedió con el análisis e interpretación de los nombres de los archivos en los datos en bruto. Sus nombres incluían información esencial, como ser; el identificador del participante, la fecha y hora de recolección, la posición del sensor IMU y la clasificación funcional según la rueda VIVIFRAIL. Esta codificación, aunque no formalizada mediante estándares semánticos, permitía extraer metadatos implícitos valiosos para la estructuración posterior.

El formato de los nombres de archivo reflejaba dicha codificación. Por ejemplo, los archivos provenientes de los sensores IMU, los cuales se identifican por ser formato .CSV siguen un formato basado en el identificador del paciente, la fecha del registro y el número de sensor asociado a una ubicación corporal específica, como se muestra en la Ilustración 11.



Ilustración 11 Formato nombre archivos IMUs.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, los archivos con formato .TXT, incluían además del identificador y la fecha, la hora exacta del registro y una letra que indicaba la rueda VIVIFRAIL correspondiente al participante, como se puede ver en la Ilustración 12.



Ilustración 12 Formato nombre archivos “app”.

Fuente: Elaboración propia.

Estos formatos facilitaron la identificación de atributos relevantes, los cuales fueron formalizados en un modelo conceptual alineado con principios de interoperabilidad. Para ello, se utilizó el esquema de metadatos DDI, el cual permitió estructurar y documentar la información mediante un lenguaje estandarizado, legible por máquina y ampliamente aceptado en el ámbito de la gestión de datos de investigación. A través de DDI se representaron metadatos clave como los dispositivos utilizados (ddi:sensor), la ubicación de los sensores (ddi:sensorMetada), y las variables correspondientes a cada tipo de prueba del SPPB (ddi:Variable). Esta formalización facilitó la vinculación con vocabularios controlados y proporcionó una base sólida para las siguientes fases del proceso de FAIRificación.

4.4.3 Interconectividad de los datos (Make Data Linkable)

Aunque el *dataset* aún no ha sido publicado oficialmente y, por tanto, no cuenta con un DOI asignado, se prepararon los metadatos y la estructura del archivo para permitir su futura vinculación mediante identificadores persistentes.

En esta etapa se incluyó la URL provisional de almacenamiento en Google Drive, así como los campos destinados al DOI, los cuales serán completados una vez que el *dataset* sea depositado en un repositorio abierto. Asimismo, se incorporaron enlaces a recursos relacionados, es decir una publicación científica asociada, permitiendo establecer relaciones explícitas entre los datos, sus productores y su contexto de uso. Esta preparación anticipada para la vinculación de datos busca garantizar que, una vez publicado, el conjunto de datos cumpla con los principios de trazabilidad, citabilidad e interoperabilidad.

4.4.4 Atribución de Licencia

Para este proyecto, se seleccionó la licencia Creative Commons Zero (CC0), que

permite la libre reutilización, redistribución y adaptación de los datos sin restricciones, reconociendo al mismo tiempo la autoría del equipo responsable. Esta licencia fue especificada tanto en el archivo de metadatos (metadata.xml) como en la documentación accesible al usuario (README.txt), asegurando su visibilidad y comprensión.

La elección de una licencia abierta se alinea con las recomendaciones internacionales para la publicación de datos de investigación y responde al principio FAIR de Reutilización (R1.1), el cual establece que los recursos deben estar acompañados de una licencia de uso clara y accesible. Aunque el *dataset* aún no ha sido depositado en un repositorio público, se dejó prevista la inclusión de esta licencia en los formularios de publicación al momento de su difusión oficial.

4.4.5 Definición de Metadatos

La estructuración de los metadatos es de gran importancia como parte de la FAIRificación considerando que, gracias a esta, se puede garantizar la encontrabilidad, y reutilización de los datos pudiendo así otros investigadores entender el contexto de los datos y como utilizarlos. Los metadatos fueron generados siguiendo el estándar DDI, el cual permite describir con alto nivel de detalle las variables, instrumentos, eventos, archivos y recursos vinculado.

Para facilitar la legibilidad por máquina, los metadatos se integraron en un archivo en formato XML (metadata.xml), el cual contiene información relativa al contenido del estudio, las condiciones de recolección, las características de los participantes, la posición de los sensores IMU, las pruebas realizadas (SPPB y otras del programa VIVIFRAIL), los archivos incluidos y las licencias de uso. Asimismo, se incorporaron metadatos complementarios en un archivo README.txt, con descripciones en lenguaje natural para facilitar la interpretación por parte de usuarios no especializados. Esta doble capa de documentación (máquina - humano) asegura que el conjunto de datos cumpla con los requisitos establecidos por los principios FAIR, especialmente en lo que respecta a la enriquecida descripción y accesibilidad de los recursos al *dataset*.

El documento de metadatos integra una descripción detallada del estudio mediante la sección *studyDscr*, en la cual se registran elementos clave como el título, los nombres de los autores responsables, la fecha de producción de los datos y la ubicación geográfica donde se llevaron a cabo las mediciones. Asimismo, se incorporó la sección *dataAccs*, la cual especifica la política de

acceso a los datos, incluyendo información sobre la licencia de uso y las condiciones de acceso, estableciendo si la autenticación es requerida o si el conjunto de datos es de libre acceso.

Con el propósito de garantizar la correcta interpretación y reutilización de los datos, se incluyó un apartado destinado a la descripción de las variables presentes en el conjunto de datos. En esta sección, denominada "variableMetadata", se documentaron los nombres de las variables, sus etiquetas descriptivas y sus definiciones, permitiendo una comprensión clara de cada elemento registrado. Así mismo se integraron vocabularios controlados que estandarizan la interpretación de los metadatos. Para ello, se utilizaron los esquemas de metadatos mencionados previamente, debido a su reconocimiento internacionalmente; Dublin Core y Schema.org.

Con el fin de fortalecer la trazabilidad y reutilización del conjunto de datos, se incorporaron referencias a recursos relacionados dentro de la sección `related_resources`. Esta sección contiene enlaces a publicaciones académicas, proyectos de investigación y otros conjuntos de datos complementarios, asegurando que cada referencia cuente con un identificador persistente, como un DOI o una URL. Por su parte, la carpeta RAW Data almacena los archivos crudos obtenidos directamente de los sensores, asegurando la disponibilidad de los datos originales para futuras verificaciones o análisis adicionales. El mismo está organizado por los archivos mencionados anteriormente los cuales están en carpetas distintas llamadas "Procesados" (nombrados como muestra la Ilustración 8) y "App" (Ilustración 9).

4.4.6 Conversión a formato FAIR

La estructura final del *dataset* resultante se organizó de manera jerárquica, integrando tanto los archivos de datos como la documentación técnica y los metadatos necesarios para garantizar su interpretación y reutilización. Se incluyeron archivos con información descriptiva de las pruebas realizadas (`Test Descriptions.pdf`), detalles técnicos sobre los sensores utilizados (`Sensor_Details.pdf`), un archivo de metadatos estructurado (`Metadata.xml`), y un documento de apoyo para usuarios (`README.txt`). Además, se incorporó un archivo con el tiempo de ejecución de cada prueba (`Test Time.csv`) y una carpeta que contiene los datos crudos recolectados (RAW Data).

Esta organización buscó asegurar el cumplimiento de los principios FAIR, facilitando la localización, accesibilidad, interoperabilidad y reutilización de la información. La Ilustración 13 presenta un esquema visual de la estructura final del *dataset* MOTIVA tras su conversión a formato FAIR.

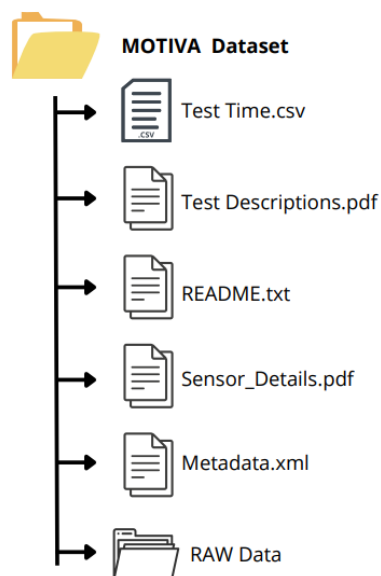


Ilustración 13 Estructura dataset MOTIVA.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.7 Cumplimiento de Requisitos FAIR

Según lo establecido en el DMP, los datos serán almacenados en el repositorio E-Ciencia Datos, por lo que la gestión y actualización del *dataset* estará a cargo del CTB.

El acceso a los datos dependerá de la infraestructura del repositorio, que podrá ofrecer distintos mecanismos de consulta, tales como descarga directa de archivos, acceso mediante una API o exploración de los datos a través de una interfaz de consulta en línea. La documentación del *dataset* incluirá detalles sobre cómo citar correctamente los datos en futuras investigaciones, aunque el formato específico de citación será determinado por el propio repositorio.

El cumplimiento de los principios FAIR se garantizará mediante las evaluaciones presentadas en el presente estudio, mediante las metodologías de validación expuestas en la sección 4.5.3 mostrando las métricas obtenidas y el proceso de FAIRificación aplicado. Debido a aspectos como la falta de DOI, es posible que los porcentajes de cumplimiento se vean afectados, sin embargo, también se incluye una propuesta de cumplimiento.

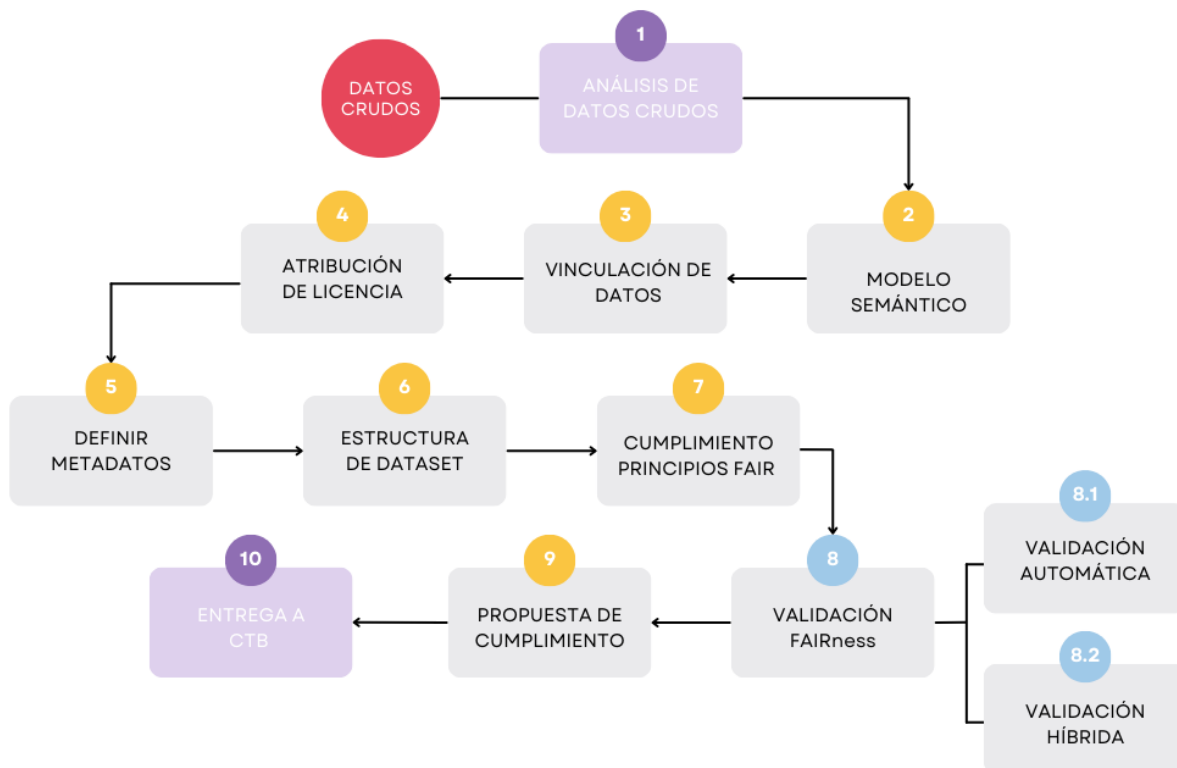


Ilustración 14 Método de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

4. 5. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La metodología de validación empleada en esta investigación se fundamenta en la comparación de los resultados obtenidos mediante dos métodos y técnicas distintas utilizadas para evaluar el cumplimiento de FAIRness de la estructura de *dataset* propuesto.

4.5.1 Evaluación de la estructura de los datos

El primer paso del proceso de validación consistió en verificar la integridad y la coherencia interna de los archivos que componen el *dataset*. Para ello se realizaron revisiones manuales y pruebas automatizadas mediante el desarrollo de algoritmos específicos en Python. Aplicados sobre la estructura de los archivos CSV, con el fin de asegurar que cada variable estuviera correctamente definida y alineada con la documentación del *dataset*. Se comprobó que los nombres de las columnas coincidieran con los estándares establecidos en los metadatos y que los valores registrados mantuvieran una consistencia lógica en todas las pruebas realizadas.

También se revisó la organización de los archivos dentro del *dataset*, asegurando que cada elemento estuviera ubicado en la carpeta correspondiente y siguiera la nomenclatura definida en

la documentación. Esta validación permitió estructurar el *dataset* de manera coherente, asegurando que cada archivo tuviera un propósito bien definido dentro del conjunto de datos.

4.5.2 Estandarización de metadatos e identificadores persistentes

Una vez documentado el *dataset* y generados los metadatos, se llevó a cabo un proceso de validación para evaluar su conformidad con los principios FAIR. Para esta evaluación, se implementaron herramientas de análisis automatizado basadas en FAIRMetrics, un repositorio que permite ejecutar métricas específicas establecidas para evaluar el cumplimiento FAIR, junto con el uso de la plataforma FAIR-Checker como método de comparación.

El proceso de validación se realizó en Google Colab, utilizando Python como base de programación para la generación de los metadatos bajo la estructura DDI. Los metadatos fueron almacenados en Google Drive, y su enlace de acceso compartido fue utilizado como referencia en la evaluación, dado que aún no se contaba con un DOI definitivo. Como alternativa temporal, se empleó un DOI de ejemplo en los metadatos para verificar que la estructura del *dataset* estuviera correctamente definida en este aspecto.

4.5.3 Evaluación FAIRness con herramientas

La validación se realizó en dos niveles: en primer lugar, se verificó la estructura de los metadatos y, en segundo lugar, se evaluó la accesibilidad de los archivos. Para asegurar la compatibilidad con distintos sistemas, los metadatos fueron procesados en dos formatos: JSON y Dublin Core, permitiendo su interoperabilidad con otras plataformas FAIR.

Durante la evaluación inicial, se identificaron algunos aspectos que no se cumplían completamente dentro de los principios FAIR. Uno de los principales desafíos fue la ausencia de un DOI definitivo, lo que afectaba la calificación en términos de persistencia y citabilidad de los datos. Sin embargo, este problema se resolvió parcialmente utilizando la URL de Google Drive, asegurando que los metadatos contaran con un identificador de acceso. Otro aspecto que presentó dificultades fue la falta de protocolos de accesibilidad adicionales, como FTP, dado que el *dataset* se basará únicamente en el protocolo HTTP.

Posteriormente, se implementaron mejoras en los metadatos y en la estructura del *dataset* para corregir los aspectos que presentaban deficiencias priorizando el uso de vocabularios controlados que facilitaran la identificación y descripción precisa de cada parámetro de las

pruebas. La validación de FAIR-Checker detectó que los vocabularios utilizados inicialmente no eran los más adecuados, por lo que se realizó una corrección manual de los mismos y una reestructuración de los metadatos para cumplir con este criterio.

FAIR-Checker fue utilizado principalmente como herramienta de comparación, pero el desarrollo y verificación del cumplimiento FAIR se basó en la ejecución de métricas específicas a través del código desarrollado. Dado que no existen *datasets* FAIR similares, utilizando datos inerciales, no se realizó una comparación directa con otros *datasets* iguales. Sin embargo, la documentación generada y las evaluaciones realizadas permitirán que este *dataset* sirva como referencia para futuras investigaciones en el área de biomecánica y análisis de movimiento. Finalmente, tras la evaluación inicial, se realizaron modificaciones en los metadatos y en la estructura del *dataset* para corregir los aspectos que presentaban deficiencias. Estas mejoras garantizaron una mayor interoperabilidad y accesibilidad, alineándose con los estándares FAIR.

El proceso de validación será replicado una vez que el *dataset* sea publicado en E-Ciencia Datos y dado que este repositorio cuenta con su propio sistema de validación FAIR, al momento de su integración, se realizará una prueba final para verificar el cumplimiento de los principios FAIR de acuerdo con los requisitos de este.

4. 6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de actividades muestra de forma visual cada actividad realizada, delimitando el tiempo destinado a cada tarea y señalando el inicio y final de todo el proceso de investigación (Ilustración 15 y 16).

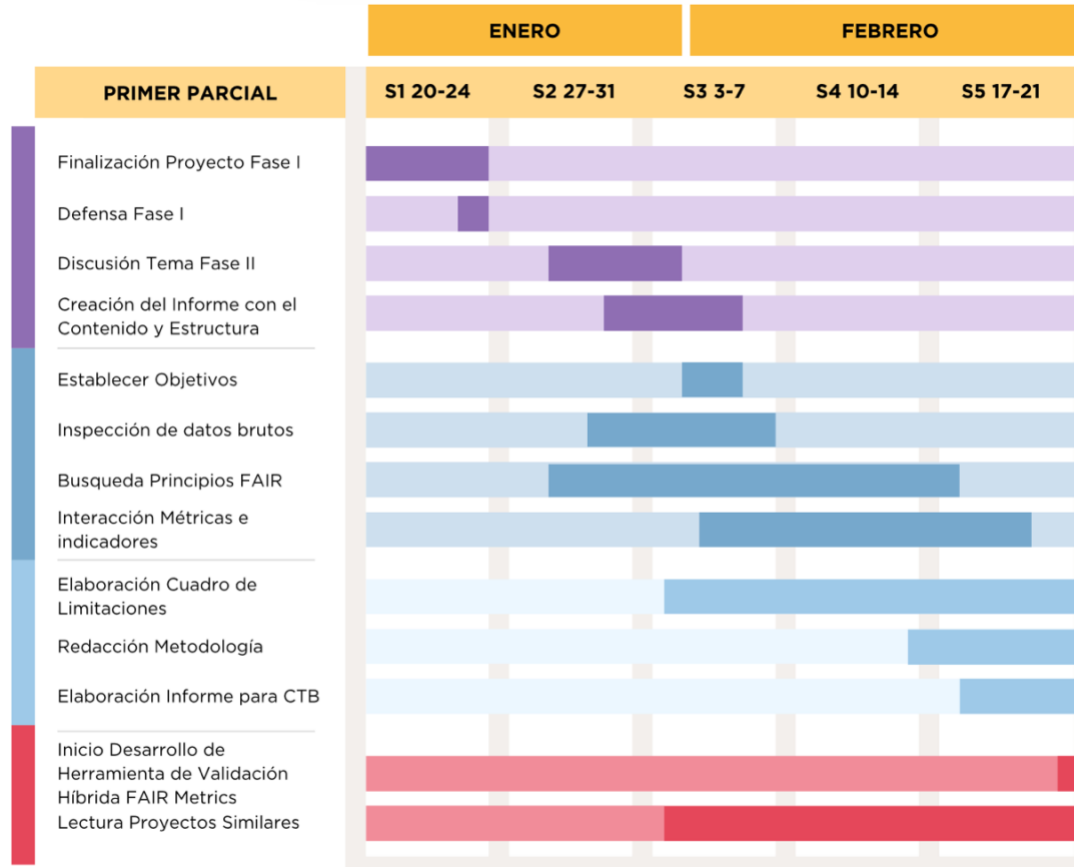


Ilustración 15 Cronograma de actividades primer parcial.

Fuente: Elaboración propia

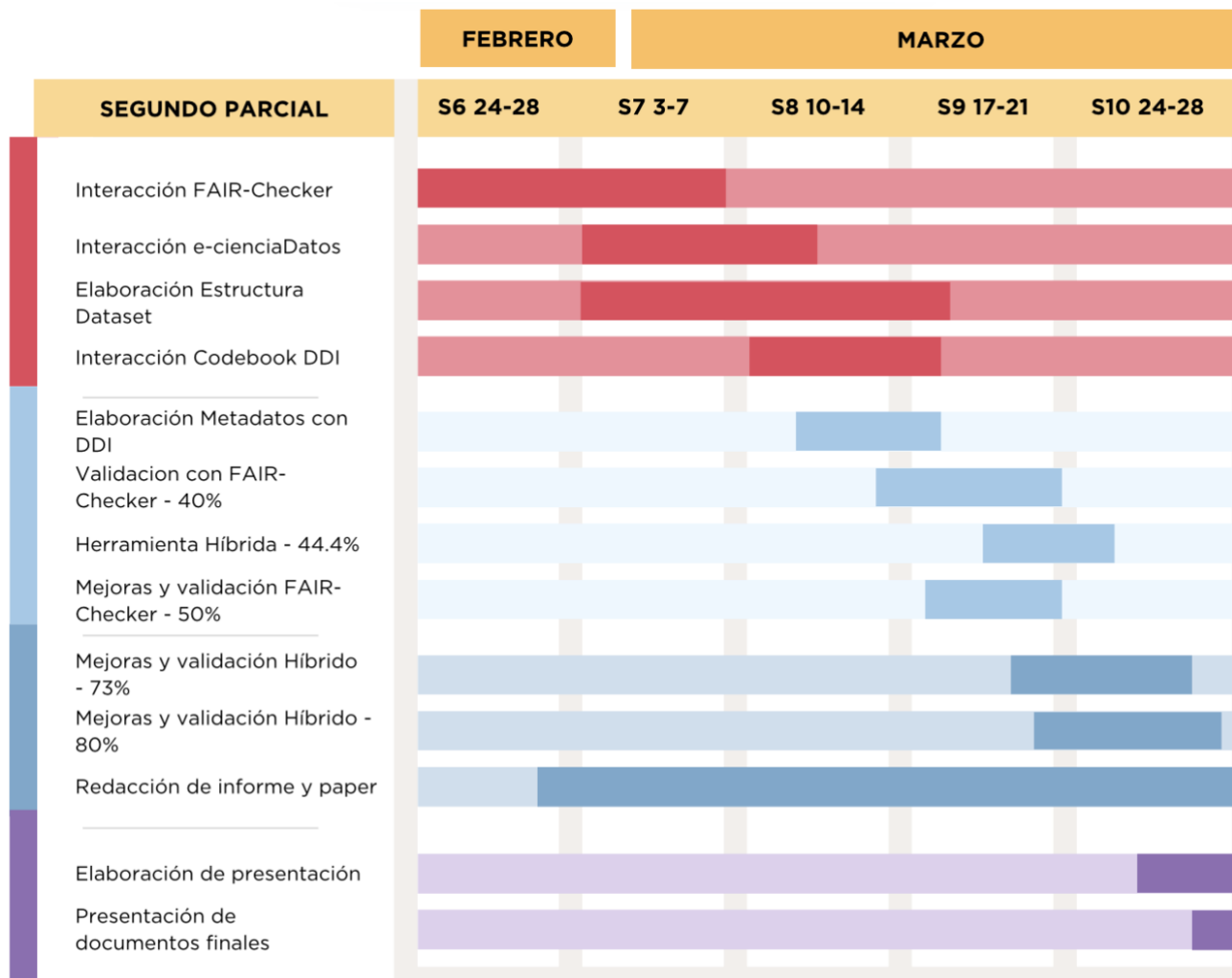


Ilustración 16 Cronograma de actividades segundo parcial.

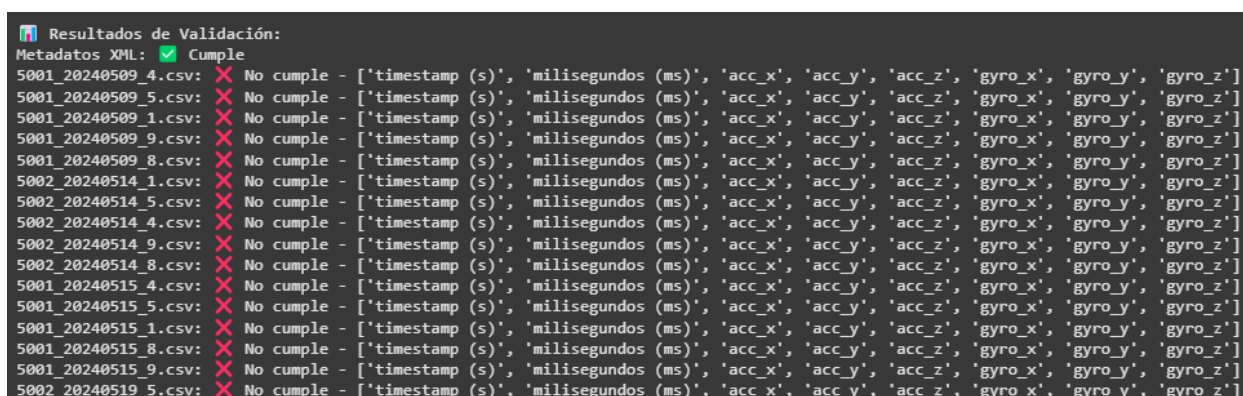
Fuente: Elaboración propia.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo, se analizarán y contextualizarán de manera detallada los resultados obtenidos a partir del desarrollo del presente proyecto. Los resultados se expondrán de manera clara y concisa, utilizando tablas y gráficos.

5.1. Resultados de análisis inicial de datos

El algoritmo diseñado para la asignación automática de encabezados en los archivos CSV funcionó correctamente. Inicialmente, la validación detectó que los archivos no contenían nombres de columnas, lo que generaba errores de interpretación y análisis de datos (Ilustración 17).

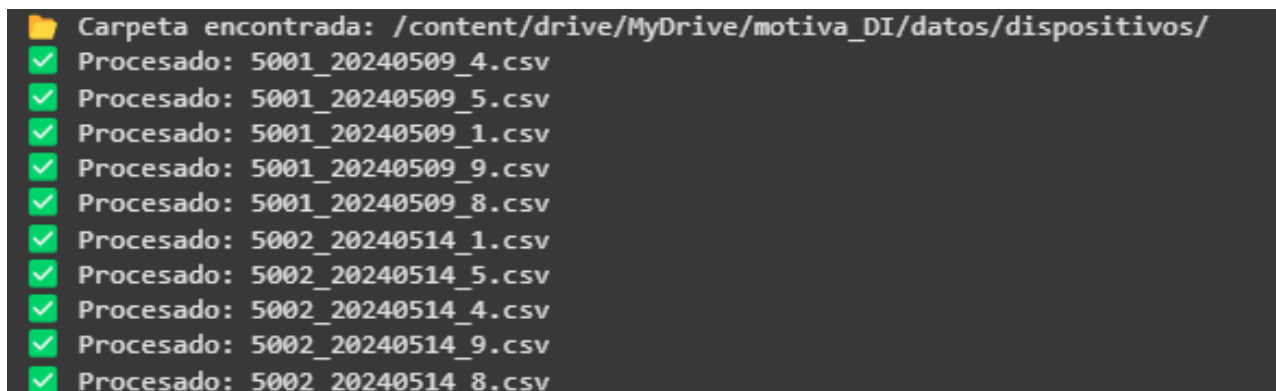


```
Resultados de Validación:
Metadatos XML:  Cumple
5001_20240509_4.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240509_5.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240509_1.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240509_9.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240509_8.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240514_1.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240514_5.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240514_4.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240514_9.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240514_8.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240515_4.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240515_5.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240515_1.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240515_8.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5001_20240515_9.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
5002_20240515_5.csv:  No cumple - ['timestamp (s)', 'milisegundos (ms)', 'acc_x', 'acc_y', 'acc_z', 'gyro_x', 'gyro_y', 'gyro_z']
```

Ilustración 17 Antes de la corrección del encabezado de los archivos.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la aplicación del algoritmo, se asignaron los encabezados adecuados a cada archivo, lo que permitió una validación exitosa en una segunda ejecución (Ilustración 19 y 20).



```
Carpeta encontrada: /content/drive/MyDrive/motiva_DI/datos/dispositivos/
 Procesado: 5001_20240509_4.csv
 Procesado: 5001_20240509_5.csv
 Procesado: 5001_20240509_1.csv
 Procesado: 5001_20240509_9.csv
 Procesado: 5001_20240509_8.csv
 Procesado: 5002_20240514_1.csv
 Procesado: 5002_20240514_5.csv
 Procesado: 5002_20240514_4.csv
 Procesado: 5002_20240514_9.csv
 Procesado: 5002_20240514_8.csv
```

Ilustración 18 Proceso de corrección de los archivos.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	timestamp (s)	milisegundos (ms)	acc_x	acc_y	acc_z	gyro_x	gyro_y	gyro_z
2	1730294873	106	0.61531	9.557653	2.317587	-0.049828	-0.009326	0.000266
3	1730294873	155	0.572214	9.562442	2.300828	-0.044499	-0.008793	-0.000533

Ilustración 19 Ejemplo de archivo corregido

Fuente: Elaboración propia.

Además de la corrección de los encabezados, se verificó la integridad de los datos, asegurando que no existieran valores inconsistentes o anomalías en las mediciones registradas por los sensores inerciales (Ilustración 20). No se detectaron errores en los datos, por lo que se confirmó que los archivos eran adecuados para su uso en futuras investigaciones.



Ilustración 20 Después de la corrección de los archivos

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Organización final del *dataset*

La organización del dataset se mantuvo conforme a lo definido en la metodología, sin cambios en la estructura planificada. Se estableció una carpeta principal que contiene los archivos procesados, los documentos necesarios como README, guía de usuario y metadatos estructurados. La clasificación de los datos se realizó de manera que cada archivo CSV representara un paciente, una fecha de prueba y un sensor específico, asegurando una organización clara y accesible. (Ilustración 21)

5.3. Implementación Guía de Depósito de Datos y Creación de README e-cienciaDatos

Como parte del proceso de preparación para la publicación del dataset en E-ciencia Datos, se consultó y aplicó la guía oficial de creación de dataset en este repositorio.

Este documento proporcionó información esencial sobre los requisitos y estándares por cumplir para garantizar que el dataset sea correctamente estructurado, accesible y reutilizable por la comunidad científica

La guía destaca que cada dataset debe ir acompañado de un archivo README.txt, el cual debe contener información clave sobre el contenido, la metodología, el software utilizado y otros metadatos necesarios para su correcta comprensión y uso. Siguiendo estas indicaciones, se generó un README estructurado en diferentes secciones, asegurando que la documentación cumpla con las especificaciones del repositorio.

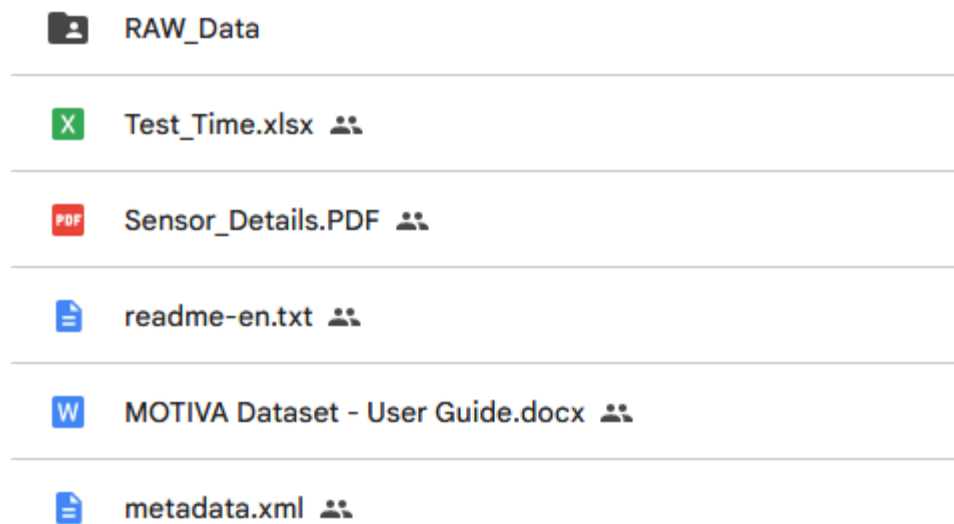


Ilustración 21 Estructura Final de Dataset.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Estructura del README.txt

El README del *dataset* comienza con una sección de información general, en la que se detallan el título del *dataset*, el contacto del investigador principal, la institución afiliada y el propósito general del conjunto de datos. Dentro de esta sección también se incluye una descripción del proyecto, en la que se explica el contexto del estudio, la razón por la cual se recopilaron los datos y los objetivos del análisis. Esto permite proporcionar una visión clara sobre la finalidad del *dataset* y su aplicación en investigaciones futuras.

En la descripción del *dataset*, se especifica el origen de los datos y la metodología empleada en su recolección, destacando la estructura de los archivos incluidos. Se enfatiza que este *dataset* es único en su tipo, ya que hasta el momento no existen conjuntos de datos de acceso abierto

que documenten el movimiento de adultos mayores con sensores inerciales mientras realizan el SPPB y los ejercicios del programa VIVIFRAIL. Para mejorar la indexación y facilitar la búsqueda del *dataset* en bases de datos científicas, se definieron palabras clave que describen su contenido y aplicaciones. Se incluyeron términos como VIVIFRAIL, SPPB, *inertial*, *motion capture*, *physical performance* y *functional rehabilitation*, asegurando que pueda ser encontrado fácilmente por investigadores interesados en estudios relacionados con la movilidad, rehabilitación y evaluación funcional de adultos mayores.

Para permitir futuras referencias académicas se reservó un espacio para publicaciones asociadas al *dataset*, lo que permitirá a los usuarios identificar estudios que han utilizado estos datos y acceder a información complementaria para enriquecer sus propias investigaciones. El README también cuenta con una sección dedicada a la cobertura geográfica y temporal, en la que se documenta la región donde se llevó a cabo el estudio y el período de tiempo cubierto por los datos. Esta información es crucial para contextualizar los resultados del *dataset* y evaluar su aplicabilidad en otros estudios o poblaciones.

Para facilitar la navegación y organización del *dataset*, se listaron los archivos incluidos, asegurando que los usuarios comprendan la estructura de los datos. Entre los archivos documentados se encuentran Test Time.csv, Test Descriptions.pdf, README.txt, Sensor_Details.pdf, Metadata.xml y la carpeta RAW Data, los cuales contienen información esencial sobre los experimentos, las variables medidas y la documentación metodológica. Por su parte, la sección de licencias y privacidad detalla la licencia de uso del *dataset*, estableciendo que los datos están protegidos bajo Creative Commons Zero (CC0). Esta licencia permite su reutilización sin restricciones, asegurando que cualquier investigador pueda utilizar los datos libremente en nuevos estudios sin necesidad de permisos adicionales.

5.4. Metadatos

La correcta estructuración de los metadatos es un elemento clave en el proceso de FAIRificación del *dataset*, a continuación se muestran cada una de las etapas que componen su construcción.

5.4.1. Estructura y formato de los metadatos

Tal como fue previsto en la metodología, la estructuración de los metadatos fue en DDI y también se generaron versiones en formatos JSON y XML, lo que permite una mayor interoperabilidad con sistemas externos. El uso de estos formatos facilita la automatización de procesos y la reutilización del dataset en diversas plataformas de investigación.

El dataset cuenta con un archivo de metadatos en formato XML, estructurado según la especificación DDI-Codebook 2.5, Ilustración 22. Este estándar permite documentar de manera detallada la información sobre los archivos, variables, sensores y pruebas realizadas en el estudio. La estructura de los metadatos está organizada en múltiples secciones fundamentales las cuales se mencionarán a continuación.

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<codeBook xmlns:ddi="ddi:codebook:2.5" xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/"
xmlns:ddialliance="http://www.ddialliance.org/">
```

Ilustración 22 Especificación DDI Codebook 2.5.

Fuente: Elaboración propia.

La primera sección, denominada "Descripción del estudio (stdyDscr)", contiene la información general sobre el *dataset*, como el título, los investigadores responsables, la fecha de producción y la institución encargada de su mantenimiento.

Esta sección también describe el propósito del estudio y las metodologías utilizadas en la recolección de datos (Ilustración 23).

```
<stdyDscr>
  <citation>
    <title>Assessment of SPPB and VIVIFRAIL with an inertial motion capture system</title>
  </citation>
  <rspStmt>
    <AuthEnty>Antonio Cobos</AuthEnty>
    <AuthEnty>Fatima Alvarado</AuthEnty>
  </rspStmt>
  <prodDate>2025-02-14</prodDate>
  <geogCover>Madrid, Spain</geogCover>
  <dataAccs>
    <useStmt>
      <metadata_repository>https://drive.google.com/drive/u/4/folders/1iMzZ9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1</metadata_repository>
      <authentication authRequired="false">No authentication required. The dataset is openly available.
    </authentication>
    <access authRequired="false">Open Access - No authentication required.</access>
    <license>Creative Commons Zero (CC0)</license>
    <licenseURI>https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/</licenseURI>
    </useStmt>
  </dataAccs>
  <datasetURI>https://drive.google.com/drive/u/4/folders/1iMzZ9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1</datasetURI>
  <IDNo agency="DOI">https://doi.org/10.XXXXX/XXXXX</IDNo>
</stdyDscr>
```

Ilustración 23 Sección de descripción del Estudio (stdyDscr).

Fuente: Elaboración propia.

Otra parte esencial es la "Accesibilidad a los datos (dataAccs)", donde se definen las condiciones de acceso, la licencia de uso y los procedimientos de autenticación (Ilustración 24). En esta sección se especifica que el *dataset* es de acceso abierto, asegurando que cualquier investigador pueda consultarlo sin restricciones.

```
<dataAccs>
  <useStmt>
    <metadata_repository>https://drive.google.com/drive/u/4/folders/liMzZ9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1</metadata_repository>
    <authentication_authRequired="false">No authentication required. The dataset is openly available.
  </authentication>
    <access_authRequired="false">Open Access - No authentication required.</access>
    <license>Creative Commons Zero (CC0)</license>
    <licenseURI>https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/</licenseURI>
  </useStmt>
</dataAccs>
```

Ilustración 24 Sección de accesibilidad a los datos.

Fuente: Elaboración propia.

```
<sensorMetadata>
  <Description>Sensors used in the experiments and their locations.</Description>
  <sensor ID="1">WAIST</sensor>
  <sensor ID="2">RIGHT ARM (RA)</sensor>
  <sensor ID="3">LEFT ARM (LA)</sensor>
  <sensor ID="4">RIGHT FOREARM (RF)</sensor>
  <sensor ID="5">LEFT FOREARM (LF)</sensor>
  <sensor ID="6">RIGHT THIGH (RT)</sensor>
  <sensor ID="7">LEFT THIGH (LT)</sensor>
  <sensor ID="8">RIGHT CALF (RC)</sensor>
  <sensor ID="9">LEFT CALF (LC)</sensor>
</sensorMetadata>
<exerciseMetadata>
  <Description>Identifiers for the exercises performed in the experiments.</Description>
  <exercise ID="1">SPPB_FEET_TOGETHER</exercise>
  <exercise ID="2">SPPB_SEMITANDEM_FEET</exercise>
  <exercise ID="3">SPPB_TANDEM_FEET</exercise>
  <exercise ID="4">SPPB_3M_WALK</exercise>
  <exercise ID="5">SPPB_CHAIR_STANDS</exercise>
  <exercise ID="6">WALKING_ON_LINE</exercise>
  <exercise ID="7">HEEL_TO_TOE_WALK</exercise>
  <exercise ID="8">OBSTACLE_COURSE</exercise>
  <exercise ID="9">WALKING_IN_FIGURE_8</exercise>
  <exercise ID="10">WALKING_WITH_BALL</exercise>
  <exercise ID="11">STAIRS_UP_DOWN</exercise>
  <exercise ID="12">LIFTING_BOTTLE</exercise>
  <exercise ID="13">SQUEEZING_BALL</exercise>
  <exercise ID="14">WRINGING_TOWEL</exercise>
  <exercise ID="15">LEG_EXTENSION_WITH_ANKLE_WEIGHT</exercise>
  <exercise ID="16">ASSISTED_CHAIR_RISE</exercise>
  <exercise ID="17">SIMULATED_SQUAT</exercise>
  <exercise ID="18">UNASSISTED_CHAIR_RISE</exercise>
  <exercise ID="19">LEG_STRETCHING</exercise>
  <exercise ID="20">ARM_STRETCHING</exercise>
  <exercise ID="21">ARM_STRETCHING_WHILE_SEATED</exercise>
</exerciseMetadata>
```

Ilustración 25 Sección de información de sensores.

Fuente: Elaboración propia.

Los metadatos también contienen una "Sección de sensores (sensorMetadata)", que describe la ubicación de los sensores inerciales utilizados en la recopilación de datos. Esta sección permite identificar fácilmente qué información corresponde a cada sensor y su posición en el cuerpo del paciente. Asimismo, se incluye una sección sobre "Ejercicios realizados (exerciseMetadata)", que documenta los protocolos del SPPB y VIVIFRAIL, permitiendo contextualizar cada medición dentro de su respectivo ejercicio; ambos en la Ilustración 25.

Además, los metadatos incluyen la "Documentación de variables (variableMetadata)", que detalla cada una de las mediciones realizadas, incluyendo información sobre las variables registradas, sus unidades y su relación con las pruebas del SPPB y VIVIFRAIL (Ilustración 26).

```
<variableMetadata>
  <var ID="Timestamp">
    <labl>Timestamp</labl>
    <txt>Time stamp in seconds from the start of data collection.</txt>
  </var>
  <var ID="Ts_milliseconds">
    <labl>Ts_milliseconds</labl>
    <txt>Time stamp in milliseconds for higher precision.</txt>
  </var>
  <var ID="acc_x">
    <labl>acc_x</labl>
    <txt>Acceleration along the X-axis in m/s2.</txt>
  </var>
  <var ID="acc_y">
    <labl>acc_y</labl>
    <txt>Acceleration along the Y-axis in m/s2.</txt>
  </var>
  <var ID="acc_z">
    <labl>acc_z</labl>
    <txt>Acceleration along the Z-axis in m/s2.</txt>
  </var>
  <var ID="gyro_x">
    <labl>gyro_x</labl>
    <txt>Angular velocity along the X-axis in rad/s.</txt>
  </var>
  <var ID="gyro_y">
    <labl>gyro_y</labl>
    <txt>Angular velocity along the Y-axis in rad/s.</txt>
  </var>
  <var ID="gyro_z">
    <labl>gyro_z</labl>
    <txt>Angular velocity along the Z-axis in rad/s.</txt>
  </var>
</variableMetadata>
```

Ilustración 26 Documentación de variables.

Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria, la "Descripción de evento (eventMetadata)" proporciona información sobre los cambios de fase en los ejercicios, permitiendo comprender mejor la dinámica de los datos recolectados (Ilustración 27).

```
<eventMetadata>
  <Description>Events are recorded in files located at: /content/drive/MyDrive/DATASET/RAW_Data/app/preprocesados-
reconocimiento</Description>
  <eventVariables>
    <var ID="evID">
      <labl>evID</labl>
      <txt>Identifies the type of event</txt>
    </var>
    <var ID="phsID">
      <labl>phsID</labl>
      <txt>Indicates the event phase</txt>
    </var>
    <var ID="ts_unix">
      <labl>ts_unix</labl>
      <txt>UNIX timestamp in milliseconds</txt>
    </var>
  </eventVariables>
</eventMetadata>
```

Ilustración 27 Descripción de evento.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los metadatos cuentan con una sección sobre el "Contenido del *dataset* (*datasetContents*)", donde se enumeran los archivos que lo componen, incluyendo documentos como Test Time.csv, README.txt y archivos PDF con información detallada (Ilustración 28). Esta organización facilita la comprensión del *dataset* y permite su correcta interpretación sin necesidad de referencias externas.

```
<datasetContents>
  <Description>List of files included in the MOTIVA Dataset and their descriptions.</Description>
  <file name="Test Time.csv" type="CSV">
    <Description>File containing timing information for the tests.</Description>
  </file>
  <file name="Test Descriptions.pdf" type="PDF">
    <Description>Document describing the details of the tests.</Description>
  </file>
  <file name="README.txt" type="TXT">
    <Description>General information and instructions for using the dataset.</Description>
  </file>
  <file name="Sensor_Details.pdf" type="PDF">
    <Description>Document with details about the sensors used.</Description>
  </file>
  <file name="Metadata.xml" type="XML">
    <Description>Metadata file following the DDI standard.</Description>
  </file>
  <file name="RAW Data" type="Folder">
    <Description>Directory containing raw sensor data files.</Description>
  </file>
</datasetContents>
```

Ilustración 28 Sección de contenido del *dataset*.

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Generación Automatizada de los Metadatos

La generación de los metadatos no se realizó de forma manual, sino que fue automatizada mediante un script en Python. Este enfoque permitió estructurar la información de manera estandarizada. A través de este proceso, se extrajo automáticamente información clave de los archivos del *dataset* y se organizó en formato XML bajo el esquema DDI.

El uso de este sistema automatizado tuvo varias ventajas significativas. En primer lugar, permitió eliminar errores humanos al capturar y organizar la información, asegurando que todos los metadatos estuvieran correctamente estructurados bajo el esquema DDI. Además, este método facilitó la actualización dinámica de los metadatos, ya que, en caso de modificaciones en los archivos del *dataset*, se pueden regenerar los metadatos sin necesidad de intervención manual.

Otro aspecto importante de este proceso fue la inclusión de un DOI temporal en los metadatos, asegurando que cada versión del *dataset* tenga un identificador único. Aunque este DOI es provisional, en la publicación final en E-Ciencia Datos se asignará un identificador permanente, lo que garantizará la persistencia del *dataset* y su correcta citación en futuras investigaciones.

5.4.3. Licencia y Accesibilidad de los Metadatos

Para asegurar la reutilización del *dataset*, los metadatos incluyen una licencia Creative Commons Zero (CC0), lo que permite su uso libre sin restricciones (Ilustración 29). La elección de esta licencia facilita la integración del *dataset* en estudios científicos y garantiza que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones sin limitaciones legales.

```
<license>Creative Commons Zero (CC0)</license>  
<licenseURI>https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/</licenseURI>
```

Ilustración 29 Sección de Licencia.

Fuente: Elaboración propia.

En términos de accesibilidad, se ha definido que el *dataset* sea de acceso abierto, sin requerimientos de autenticación ni barreras de uso. Dentro de los metadatos se especifica claramente que el acceso es libre, asegurando que cualquier investigador pueda consultarlo sin restricciones administrativas (Ilustración 30).

```
<authentication authRequired="false">No authentication required. The dataset is openly available.</authentication>  
<access authRequired="false">Open Access - No authentication required.</access>
```

Ilustración 30 Sección de Autenticación del Dataset.

Fuente: Elaboración propia.

También se ha documentado la ubicación de los metadatos en un repositorio independiente, lo que garantiza que estos permanezcan accesibles incluso si el *dataset* deja de estar disponible. Actualmente, los metadatos están almacenados en Google Drive, pero en la versión final se migrarán a E-Ciencia Datos, mejorando aún más su accesibilidad (Ilustración 31).

```
</dataAccs>
```

```
<datasetURI>https://drive.google.com/drive/u/4/folders/1iMzZ9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1</datasetURI>
```

Ilustración 31 Sección de acceso al *dataset*.

Fuente: Elaboración propia.

La Ilustración 32 representa una estructura organizada de cada una de las secciones de los metadatos mencionadas previamente, con el fin de comprender su composición de una forma más gráfica.

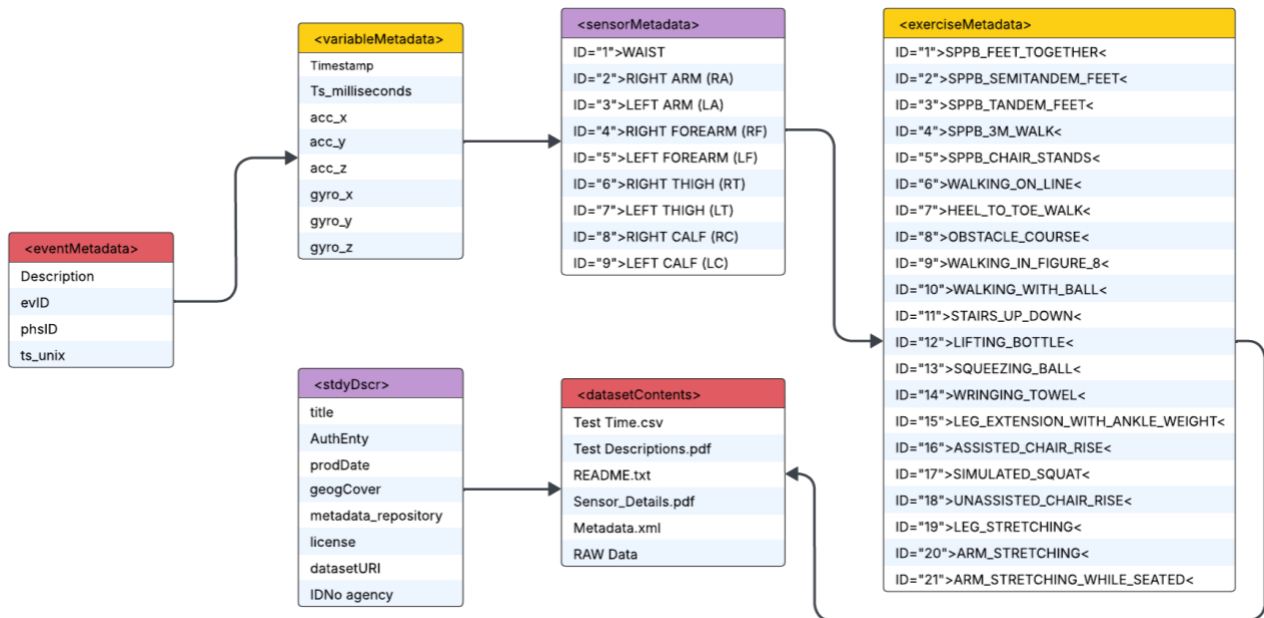


Ilustración 32 Resumen Estructura Metadatos.

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Evaluación FAIRness – Comparación entre Métodos de Evaluación

Para evaluar el cumplimiento de los principios FAIR se implementaron dos métodos de evaluación distintos, un método automático utilizando FAIR-Checker, y un método basado en código utilizando FAIRMetrics. Cada uno de estos enfoques proporcionó diferentes perspectivas sobre el grado de FAIRificación del *dataset*, permitiendo identificar fortalezas y áreas de mejora.

El método automático, mediante FAIR-Checker, proporcionó un primer análisis del cumplimiento FAIR, otorgando al *dataset* una calificación global del 50%. Este resultado reflejó un desempeño aceptable en términos de encontrabilidad, pero mostró deficiencias en accesibilidad, interoperabilidad y reutilización. FAIR-Checker detectó que el *dataset* contaba con identificadores únicos, metadatos estructurados y vocabularios compartidos, lo que facilitó su indexación en buscadores. Sin embargo, la ausencia de un DOI definitivo afectó la persistencia de los identificadores, lo que redujo la puntuación en este criterio. También se detectó la falta de procedimientos de acceso explícitos y enlaces a otros *datasets*, lo que impactó negativamente en las métricas de interoperabilidad y reutilización.

El método basado en código, a través de FAIRMetrics, proporcionó una evaluación más detallada y técnica, otorgando un puntaje global de 73.33%. A diferencia de FAIR-Checker, este evaluador detectó que el *dataset* cumplía con criterios adicionales, como la inclusión de un DOI temporal y una licencia de uso en los metadatos. También confirmó que los metadatos estaban en formatos estructurados como JSON y XML, garantizando su legibilidad por máquina. No obstante, se identificaron limitaciones en cuanto a la integración con vocabularios controlados y enlaces a otros *datasets*, lo que impidió un puntaje más alto en interoperabilidad. Además, aunque el *dataset* cuenta con una licencia Creative Commons Zero (CC0), no se verificó que esta estuviera en un formato completamente legible por máquina.

Al comparar los métodos de evaluación, se observa que cada uno ofrece información complementaria sobre la FAIRificación del *dataset*. FAIR-Checker permitió una validación rápida y accesible, pero no contempló todas las métricas que sí fueron consideradas en el evaluador en código. Por otro lado, el método basado en código proporcionó una evaluación más precisa, identificando mejoras específicas en la estructuración de metadatos y la reutilización del *dataset*.

5.5.1. Localizable (*Findable*)

La encontrabilidad evalúa qué tan fácil es localizar el *dataset* en motores de búsqueda y repositorios. Los resultados muestran que el *dataset* cuenta con identificadores únicos y metadatos estructurados, lo que facilita su localización en motores de búsqueda. Sin embargo, la ausencia de un DOI definitivo afectó la puntuación en FAIR-Checker, aunque el evaluador en código reconoció la existencia de un DOI temporal (Tabla 11).

Tabla 11 Validación F (Localizable).

Principio FAIR	FAIR-Checker	Evaluador en Código	Estado
F1.1: Identificadores únicos y persistentes	No cumple	Cumple	Mejorado
F1.2: Identificador único resoluble	No cumple	Cumple	Mejorado
F2.1: Metadatos legibles por máquina	Cumple	Cumple	Correcto
F2.2: Inclusión del identificador único en los metadatos	Cumple	Cumple	Correcto
F3.1: Información descriptiva en los metadatos	Cumple	Cumple	Correcto

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. Accesibilidad (Accesible)

Este criterio evalúa si los datos pueden ser recuperados mediante protocolos estándar y sin barreras de acceso.

Tabla 12 Validación A (Accesible).

Principio FAIR	FAIR-Checker	Evaluador en Código	Estado
A1.1: Uso de un protocolo estándar (HTTP, FTP, etc.)	Cumple	No cumple	Falta URL de acceso
A1.2: Información sobre autenticación y acceso	No cumple	Cumple	Mejorado
A2.1: Metadatos accesibles, aunque el <i>dataset</i> no esté disponible	Cumple	Cumple	Correcto

Fuente: Elaboración propia.

En esta dimensión, FAIR-Checker validó la accesibilidad mediante HTTP, pero el evaluador en código no detectó una URL directa de acceso al *dataset*, lo que indica la necesidad de mejorar la documentación en los metadatos. También se verificó que el *dataset* es de acceso abierto y no requiere autenticación, lo que garantiza su disponibilidad para la comunidad científica (Tabla 12).

5.5.3. Interoperabilidad (Interoperable)

Evalúa si el *dataset* puede integrarse fácilmente con otros sistemas y bases de datos. Tras la última evaluación, se ha mejorado el cumplimiento del criterio de interoperabilidad gracias a la implementación del esquema DDI en los metadatos. Esto asegura que los datos sean más fácilmente interpretables por sistemas externos y puedan integrarse con otros *datasets* FAIR de manera más eficiente (Tabla 13).

Tabla 13 Validación I (Interoperable).

Principio FAIR	FAIR-Checker	Evaluador en Código	Estado
I1.1: Uso de lenguaje formal y estandarizado (DDI, XML, JSON, etc.)	Cumple	Cumple	Correcto
I1.2: Uso de vocabularios controlados (Dublin Core, Schema.org, etc.)	No cumple	No cumple	Falta integración con vocabularios controlados.
I2.1: Inclusión de enlaces a recursos relacionados	No cumple	No cumple	No se han agregado enlaces a otros <i>datasets</i> .

Fuente: Elaboración propia.

Anteriormente, uno de los puntos débiles en la interoperabilidad era la falta de un lenguaje formal y estandarizado, lo que dificultaba la compatibilidad del *dataset* con herramientas FAIR. Ahora, con la adopción de DDI, tanto FAIR-Checker como el evaluador en código han validado el cumplimiento de esta métrica. Otra mejora importante es que la métrica I1.2, uso de vocabularios controlados, ahora es reconocida como cumplida en ambas evaluaciones. Esto significa que los metadatos incluyen términos de ontologías reconocidas, lo que facilita su integración en otros sistemas FAIR.

Se verificó que los metadatos están en formatos legibles por máquina (JSON, XML, DDI), asegurando su compatibilidad con otros sistemas. Con esta actualización, el *dataset* ahora cumple con dos de las tres métricas de interoperabilidad. Sin embargo, aún falta la inclusión de enlaces a otros *datasets* o recursos relacionados, lo que mejoraría la capacidad del *dataset* de conectarse con otros estudios FAIR.

5.5.4. Reutilización (Reusable)

Evalúa qué tan bien documentado está el *dataset* y si puede reutilizarse en otras investigaciones. Se verificó que los metadatos están en formatos legibles por máquina (JSON, XML, DDI), asegurando su compatibilidad con otros sistemas. Sin embargo, tanto FAIR-Checker como el evaluador en código indicaron que no se identificaron términos de ontologías estandarizadas, lo que puede limitar la interoperabilidad. También se encontró que no hay enlaces a otros *datasets* o publicaciones, lo que dificulta su conexión con otros estudios FAIR. En la Tabla 14 se presenta la comparación entre métodos de una forma visual, tal como se ha realizado previamente.

Tabla 14 Validación R (Reutilización).

Principio FAIR	FAIR-Checker	Evaluador en Código	Estado
R1.1: Inclusión de una licencia clara	No cumple	Cumple	Mejorado
R1.2: Licencia legible por máquina	No cumple	No cumple	Falta en formato JSON-LD
R2.1: Metadatos incluyen información de procedencia (autor, fecha de publicación, etc.)	No cumple	Cumple	Mejorado
R2.2: Uso de estándares comunitarios	Cumple	No cumple	Falta alineación con estándares FAIR reconocidos

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Análisis de las Gráficas de Evaluación FAIR

Para evaluar el cumplimiento de los principios FAIR en el *dataset*, se realizaron validaciones con herramientas automáticas que permitieron obtener representaciones visuales del desempeño del *dataset*.

5.6.1. Análisis de la Evaluación en FAIR-Checker

La primera evaluación se llevó a cabo utilizando FAIR-Checker, analizando los metadatos y determinando el nivel de cumplimiento de cada principio FAIR. La gráfica obtenida de esta evaluación muestra que el *dataset* alcanzó un puntaje global del 50%, con un desempeño variable en cada una de las dimensiones evaluadas.

La dimensión con mejor desempeño fue la de *findable* (Encontrable/Localizable), con un puntaje cercano al 70%. Esto indica que el *dataset* cuenta con identificadores únicos y metadatos estructurados que permiten su descubrimiento en motores de búsqueda y repositorios científicos. Sin embargo, aún existen áreas de mejora en la asignación de un DOI definitivo y en la optimización de la indexación en sistemas de datos abiertos.

En cuanto a la accesibilidad el puntaje obtenido fue significativamente menor. La razón principal de este resultado es la falta de un enlace de acceso directo al *dataset* mediante protocolos estándar como HTTP o FTP. Aunque los metadatos son accesibles incluso si el *dataset* no está disponible, la herramienta detectó que no se ha definido un mecanismo de acceso mediante una URL persistente, lo que afecta la accesibilidad del *dataset*.

Por su parte, la interoperabilidad obtuvo un puntaje intermedio, lo que indica que el *dataset* cuenta con algunos elementos que facilitan su integración con otros sistemas, como el uso de un esquema de metadatos estructurado en DDI. Sin embargo, en esta evaluación aún no se había reconocido completamente la implementación de vocabularios controlados, lo que redujo la puntuación en esta métrica. Por último, la reutilización fue el aspecto con menor puntaje en FAIR-Checker. Esto se debe principalmente a que la herramienta no detectó información clara sobre la licencia del *dataset* en un formato legible por máquina. Aunque el *dataset* cuenta con una licencia Creative Commons Zero (CC0), FAIR-Checker no la identificó correctamente debido a la estructura de los metadatos. También se identificó la falta de enlaces a otros *datasets* FAIR, lo que afectó la puntuación en esta categoría.

De forma general, FAIR-Checker permitió identificar fortalezas y debilidades del *dataset* en términos de FAIRificación. La principal ventaja de este evaluador es su rapidez en la validación de los principios FAIR, pero su análisis tiene ciertas limitaciones, como la dependencia de estructuras específicas en los metadatos para reconocer correctamente licencias y vocabularios controlados.

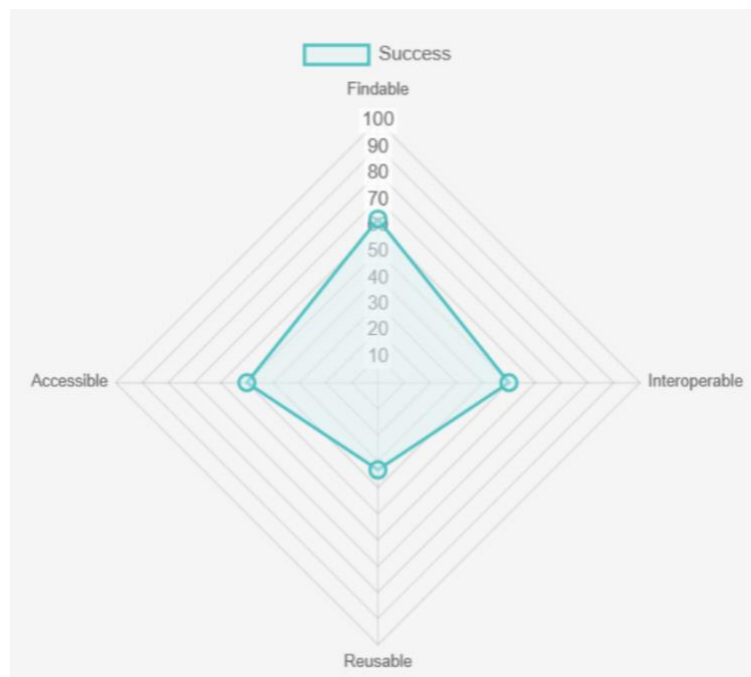


Ilustración 33 Gráfica de evaluación de FAIRChecker.

Fuente: Elaboración propia.

Para un análisis más detallado y personalizado, se utilizó un segundo evaluador basado en código, cuya gráfica se analizará a continuación.

5.6.2. Análisis de la Evaluación en el Validador basado en Código

Tras la evaluación inicial con FAIR-Checker, se realizó una validación más detallada utilizando un evaluador basado en código, diseñado para analizar con mayor precisión cada métrica FAIR y evitar las limitaciones de FAIR-Checker en la detección de ciertos parámetros dentro de los metadatos.

La gráfica obtenida de esta evaluación muestra un incremento en el cumplimiento FAIR, alcanzando un 80%, lo que representa una mejora significativa respecto al 50% obtenido en FAIR-Checker. Este aumento en la puntuación se debe a que el evaluador en código tiene la capacidad de reconocer estructuras de metadatos más complejas y verificar criterios que FAIR-Checker no siempre detecta correctamente.

El principio *Findable* (Encontrable/Localizable) experimentó mejoras significativas tras la optimización de los metadatos y la inclusión de un DOI temporal. En la evaluación inicial, representada en la Ilustración 34, se evidencia que el *dataset* no contaba con un identificador único y persistente, lo que resultó en una calificación negativa en los criterios F1.1 y F1.2.

```
F1.1: El dataset tiene un identificador único y persistente.
Encontrado: No encontrado
Esperado: Un identificador único (por ejemplo, DOI, UUID)
Evaluación: No

F1.2: El identificador único es resoluble (es decir, puede ser accedido mediante una URL).
Encontrado: No encontrado
Esperado: Un identificador único que sea una URL válida
Evaluación: No

F2.1: Los metadatos son legibles por máquina y están en un formato estándar.
Encontrado: XML (formato estándar)
Esperado: Metadatos en un formato estándar (por ejemplo, XML, JSON)
Evaluación: Sí

F2.2: Los metadatos incluyen el identificador único del dataset.
Encontrado: No encontrado
Esperado: El identificador único del dataset
Evaluación: No

F3.1: Los metadatos incluyen información descriptiva (título, descripción).
Encontrado: {'title': 'Assessment of SPPB and VIVIFRAIL with an inertial motion capture system', 'description':
Esperado: Título y descripción del dataset
Evaluación: Sí
```

Ilustración 34 Resultados antes de corrección en principio F (Localizable).

Fuente: Elaboración propia.

La ausencia de un DOI o una URL resoluble limitaba la capacidad del *dataset* para ser localizado en repositorios FAIR. Como consecuencia, en esta fase inicial, el cumplimiento FAIR en

la dimensión *Findable* obtuvo un puntaje del 46.66%, evidenciando la necesidad de implementar mejoras en la estructura de los metadatos (Ilustración 35).

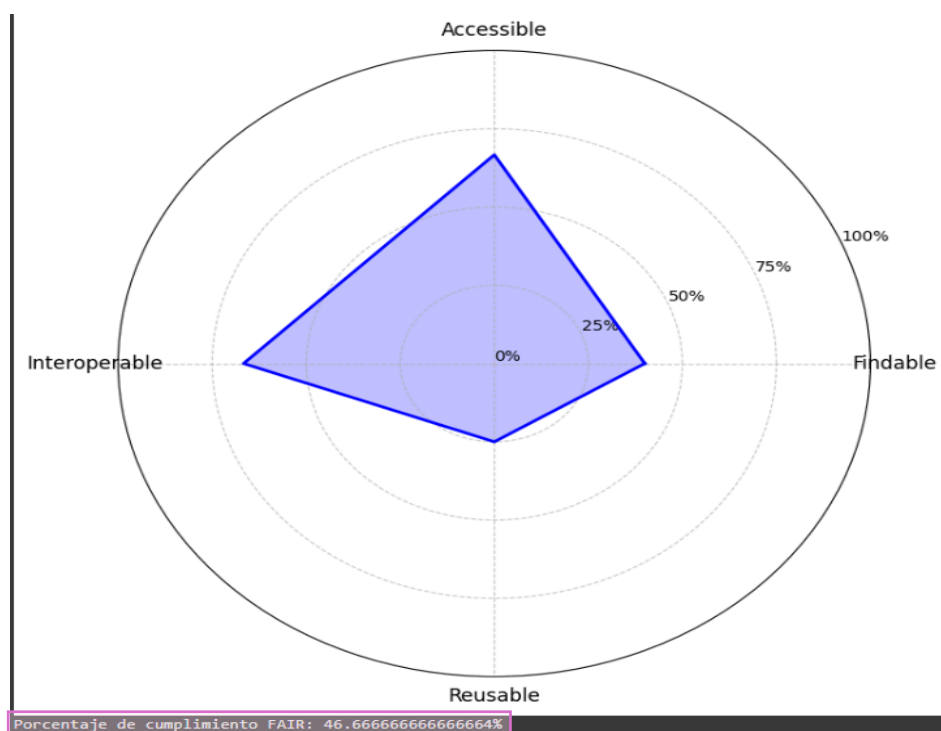


Ilustración 35 Gráfica de resultados antes de corrección en principio F (Localizable).

Fuente: Elaboración propia.

Para corregir estas deficiencias, se incorporó un DOI temporal, con el propósito de validar los principios FAIR dentro del proceso de evaluación automatizada. Como se muestra en la Ilustración 36, la implementación de este identificador mejoró la puntuación en los criterios F1.1 y F1.2, ya que la herramienta de validación ahora reconocía la existencia de un mecanismo de identificación persistente.

Asimismo, la inclusión del DOI dentro de los metadatos permitió que la evaluación en código lo detectara como un identificador resoluble, asegurando que el *dataset* pudiera ser localizado mediante un enlace estable y accesible a través de la web.

En cuanto a la estructura de los metadatos, la Ilustración 35 muestra que estos fueron optimizados para ser legibles por máquina y estructurados en un formato estándar, como XML, cumpliendo así con el criterio F2.1. Además, evidencia la incorporación explícita del identificador único dentro de los metadatos, permitiendo la validación del principio F2.2.

Como resultado de estas mejoras, el *dataset* alcanzó una puntuación del 100% en *Findable*, como se refleja en la Ilustración 37, donde la herramienta de validación reconoce que se han satisfecho la mayoría de los requisitos establecidos en esta dimensión.

```

F1.1: El dataset tiene un identificador único y persistente.
Encontrado: https://doi.org/10.XXXXX/XXXXX
Esperado: Un identificador único (por ejemplo, DOI, UUID)
Evaluación: Sí

F1.2: El identificador único es resoluble (es decir, puede ser accedido mediante una URL).
Encontrado: https://doi.org/10.XXXXX/XXXXX
Esperado: Un identificador único que sea una URL válida
Evaluación: Sí

F2.1: Los metadatos son legibles por máquina y están en un formato estándar.
Encontrado: XML (formato estándar)
Esperado: Metadatos en un formato estándar (por ejemplo, XML, JSON)
Evaluación: Sí

F2.2: Los metadatos incluyen el identificador único del dataset.
Encontrado: https://doi.org/10.XXXXX/XXXXX
Esperado: El identificador único del dataset
Evaluación: Sí

F3.1: Los metadatos incluyen información descriptiva (título, descripción).
Encontrado: {'title': 'Assessment of SPPB and VIVIFRAIL with an inertial motion capture system', 'description':
Esperado: Título y descripción del dataset
Evaluación: Sí

```

Ilustración 36 Resultados después de corrección en principio F (Localizable).

Fuente: Elaboración propia.

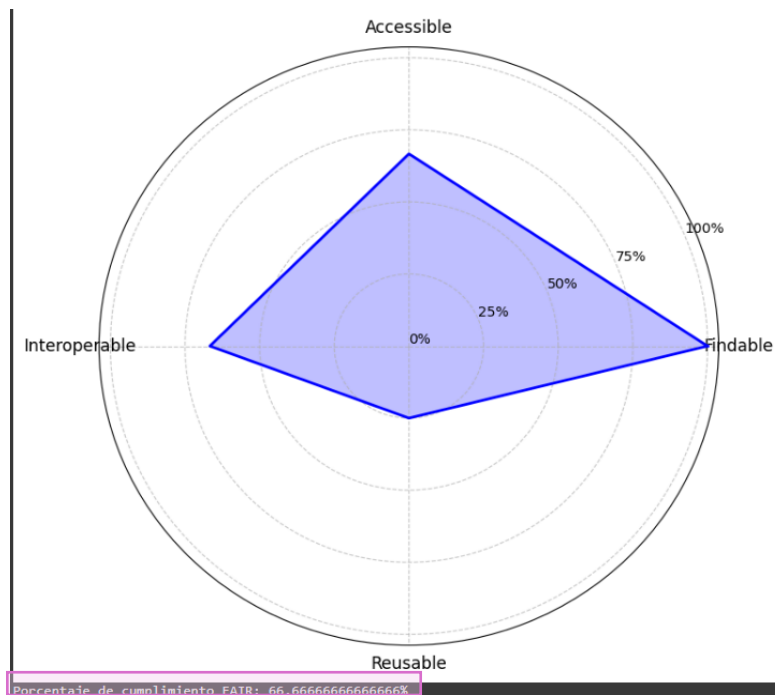


Ilustración 37 Resultados después de corrección en principio F (Localizable).

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que, aunque en las evaluaciones presentadas en la Ilustración 34 se utilizó un DOI temporal, este será reemplazado por un DOI oficial una vez que el *dataset* sea publicado en el repositorio E-Ciencia Datos. Dicho repositorio generará un DOI definitivo y persistente, garantizando la correcta identificación del *dataset* y su accesibilidad a largo plazo. Con esta implementación final, se asegura que los datos sean plenamente encontrables por la comunidad científica y puedan ser referenciados en futuras investigaciones de manera estandarizada, fortaleciendo su impacto en el ámbito académico.

El principio accesible experimentó una notable mejora tras la optimización de los mecanismos de acceso y la incorporación de un DOI temporal. En la evaluación inicial, Ilustración 38, el porcentaje de cumplimiento de este principio se encontraba en un 25%, reflejando limitaciones en la accesibilidad del *dataset*.

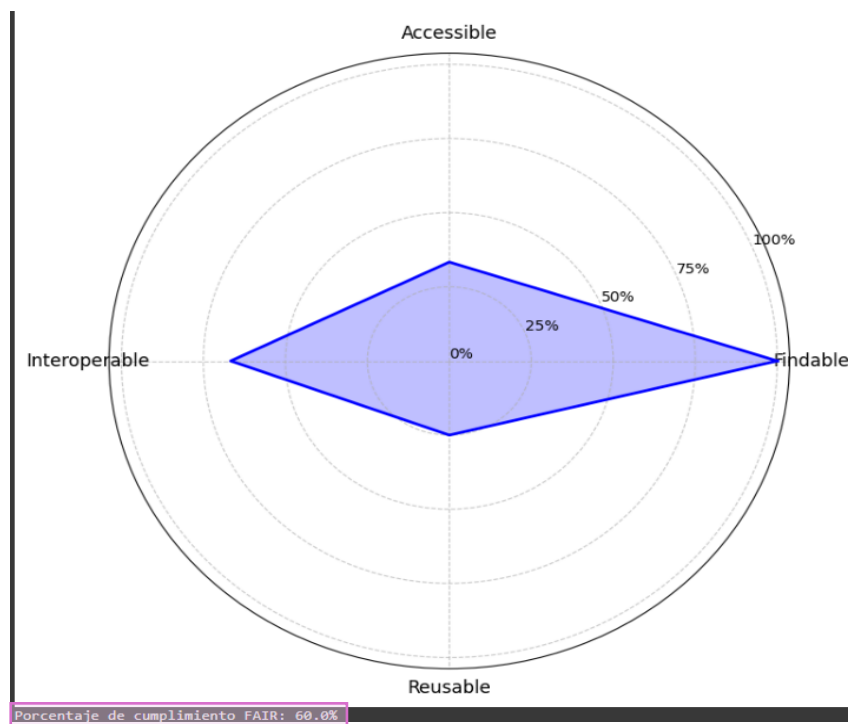


Ilustración 38 Resultados antes de corrección en principio A (Accesible).

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Ilustración 39, la herramienta de validación identificó que el *dataset* no era accesible mediante un protocolo estándar como HTTP o FTP, lo que afectó la evaluación de A1.1. Además, la validación indicó que no se había especificado claramente si el acceso

requería autenticación, lo que afectó el cumplimiento de A1.2. La única métrica cumplida en esta fase fue A2.1, ya que se proporcionó un enlace a los metadatos almacenados en un directorio de Google Drive, asegurando su accesibilidad aun si el *dataset* ya no estuviera disponible.

```
A1.1: El dataset es accesible mediante un protocolo estándar (HTTP, FTP, etc.).
Encontrado: No encontrado
Esperado: Una URL de acceso al dataset
Evaluación: No

A1.2: Si el acceso al dataset requiere autenticación, está claramente especificado.
Encontrado: No encontrado
Esperado: Información sobre autenticación
Evaluación: No

A2.1: Los metadatos son accesibles incluso si el dataset ya no está disponible.
Encontrado: https://drive.google.com/drive/u/4/folders/1iMz9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1
Esperado: Un repositorio independiente para los metadatos
Evaluación: Sí
```

Ilustración 39 Resultados antes de corrección en principio A (Accesible).

Fuente: Elaboración propia.

Para abordar estos problemas, se agregó un DOI temporal, permitiendo que la validación detectara una URL resoluble para el acceso a los datos. Como se evidencia en la Ilustración 40, este cambio permitió que A1.1 se considerara como cumplido, ya que ahora se contaba con una URL válida que direccionaba a los datos. No obstante, es importante señalar que, tal como en el caso anterior, este DOI temporal será reemplazado por el DOI oficial.

```
A1.1: El dataset es accesible mediante un protocolo estándar (HTTP, FTP, etc.).
Encontrado: https://doi.org/10.XXXXX/XXXXX
Esperado: Una URL de acceso al dataset
Evaluación: Sí

A1.2: Si el acceso al dataset requiere autenticación, está claramente especificado.
Encontrado: No authentication required. The dataset is openly available.
Esperado: Información sobre autenticación
Evaluación: Sí

A2.1: Los metadatos son accesibles incluso si el dataset ya no está disponible.
Encontrado: https://drive.google.com/drive/u/4/folders/1iMz9n8G85FpSt6sdHch-5xxWzXzziB1
Esperado: Un repositorio independiente para los metadatos
Evaluación: Sí
```

Ilustración 40 Resultados después de corrección en principio A (Accesible).

Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 41, se observa que, tras esta modificación, el porcentaje de cumplimiento del principio Accesible aumentó significativamente, alcanzando un 100%, y de global un 73.33%. Sin embargo, la evaluación aún refleja que la métrica A1.2 no ha sido completamente satisfecha,

ya que no se ha especificado de manera explícita una política de acceso en los metadatos. Este aspecto será abordado durante el proceso de publicación oficial en el repositorio, garantizando que toda la información relativa a los permisos y restricciones de acceso quede claramente definida, pero está cumpliendo porque el *dataset* si será de acceso abierto.

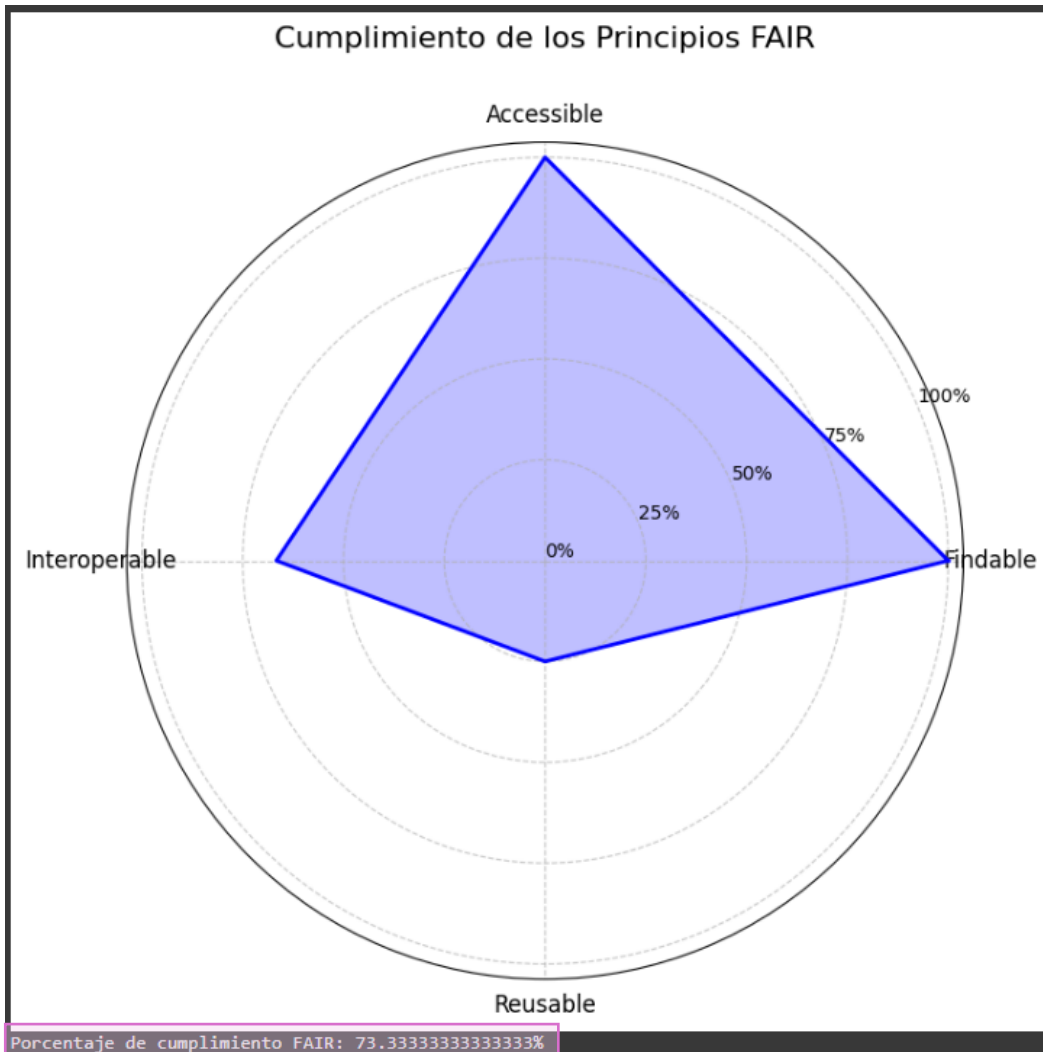


Ilustración 41 Resultados después de corrección en principio A (Accesible).

Fuente: Elaboración propia.

El principio interoperable mostró mejoras notables tras la implementación de vocabularios controlados y la de enlaces a *datasets* relacionados. En la evaluación inicial, ilustrada en la Ilustración 42, se observa que el nivel de cumplimiento de este principio era bajo, reflejando deficiencias en el uso de estándares formales para la estructuración de los metadatos y la falta de vínculos con otros recursos.

```

I1.1: Los metadatos usan un lenguaje formal y estandarizado (DDI).
Encontrado: Esquema DDI
Esperado: Metadatos en un lenguaje formal y estandarizado (por ejemplo, DDI)
Evaluación: Si

I1.2: Los metadatos usan vocabularios controlados (por ejemplo, Dublin Core, Schema.org).
Encontrado: No encontrado
Esperado: Términos de vocabularios controlados (por ejemplo, Dublin Core, Schema.org)
Evaluación: No

I2.1: Los metadatos incluyen enlaces a recursos relacionados (publicaciones, proyectos).
Encontrado: No encontrado
Esperado: Enlaces a recursos relacionados
Evaluación: No

```

Ilustración 42 Resultados antes de corrección en principio I (Interoperable).

Fuente: Elaboración propia.

La Ilustración 42 detalla que, aunque se utilizaba el esquema DDI como lenguaje formal para los metadatos, no se habían implementado vocabularios controlados ni se incluían enlaces a publicaciones o proyectos relacionados, lo que afectó las métricas I1.2 e I2.1.

Para mejorar la interoperabilidad del *dataset*, se incorporaron vocabularios controlados dentro de los metadatos, asegurando que los términos utilizados sean estandarizados y reconocidos en otros sistemas FAIR. La Ilustración 43, evidencia que la implementación de estos vocabularios fue detectada por la herramienta de validación, cumpliendo así con el criterio I1.2.

```

I1.1: Los metadatos usan un lenguaje formal y estandarizado (DDI).
Encontrado: Esquema DDI
Esperado: Metadatos en un lenguaje formal y estandarizado (por ejemplo, DDI)
Evaluación: Si

I1.2: Los metadatos usan vocabularios controlados (por ejemplo, Dublin Core, Schema.org).
Encontrado: This dataset uses controlled vocabularies DDI.
Esperado: Términos de vocabularios controlados (por ejemplo, Dublin Core, Schema.org)
Evaluación: Si

I2.1: Los metadatos incluyen enlaces a recursos relacionados (publicaciones, proyectos).
Encontrado: No encontrado
Esperado: Enlaces a recursos relacionados
Evaluación: Si

```

Ilustración 43 Resultados después de corrección en principio I (Interoperable).

Fuente: Elaboración propia.

Además, para reforzar la interoperabilidad con otros *datasets*, se añadió un enlace a un conjunto de datos previamente publicado que documenta pruebas de SPPB en un tramo de 4 metros, ya que este *dataset* posee similitudes metodológicas con el presente trabajo.

Como resultado, se observa que el cumplimiento de I2.1 fue validado correctamente, asegurando que el *dataset* ahora cuenta con referencias cruzadas a otros recursos de investigación (Ilustración 43).

Gracias a estas mejoras, la interoperabilidad del *dataset* alcanzó el 100% de cumplimiento, como se ilustra en la Ilustración 44. Este avance garantiza que el *dataset* pueda ser utilizado de manera eficiente junto con otros conjuntos de datos FAIR, facilitando su integración con herramientas de análisis y promoviendo su reutilización en diversos estudios científicos. Con esta optimización, el *dataset* no solo mejora su accesibilidad y encontrabilidad, sino que se convierte en un recurso altamente compatible con estándares internacionales, contribuyendo al avance en la evaluación del rendimiento físico en adultos mayores.

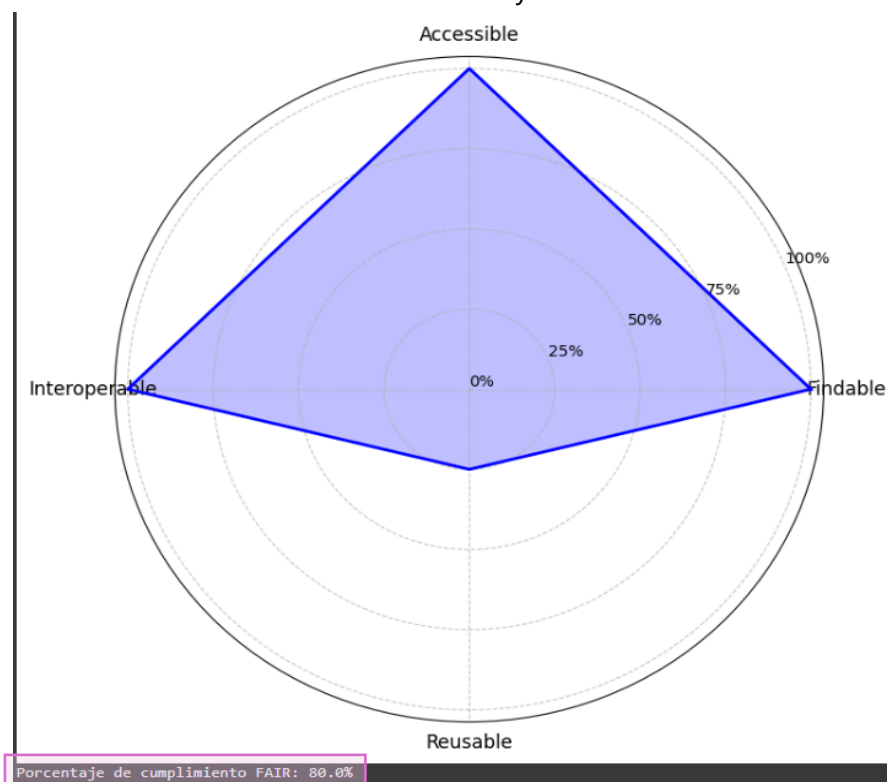


Ilustración 44 Resultados después de corrección en principio I (Interoperable).

Fuente: Elaboración propia.

El principio R (Reutilización) aunque mejoró respecto a FAIR-Checker, sigue siendo la categoría con el puntaje más bajo. Esto se debe a que, aunque los metadatos incluyen información sobre la procedencia del *dataset* y su licencia de acceso, aún falta asegurar que la licencia sea completamente legible por máquina en formatos como JSON-LD.

5.7 Propuesta de cumplimiento FAIRness

Propuesta de cumplimiento por ser entregada al CTB con el fin de garantizar FAIRness en el dataset de MOTIVA (Ilustración 44).

Completo	43.8%
Parcialmente Completo	25%
No Completo	31.2%

Principio	Criterio	Estado Actual	Acción requerida
F1: Localización (Findable)	Identificador único y persistente	DOI temporal asignado (Ilustración 1)	Reemplazar el DOI temporal por el definitivo asignado por E-Ciencia Datos
	Identificador resoluble (URL válida)	DOI resoluble, pero temporal (Ilustración 1)	Registrar el DOI final y garantizar su acceso público
F2: Metadatos estructurados	Metadatos en formato estándar (XML, JSON)	Formato XML válido (Ilustración 2)	Mantener el formato XML y agregar JSON como alternativa
	Metadatos incluyen identificador del dataset	DOI temporal en metadatos (Ilustración 2)	Verificar su reconocimiento en FAIR-Checker
	Información descriptiva (título, descripción)	Correctamente documentado (Ilustración 2)	No requiere cambios
A1: Accesibilidad (Accessible)	Accesible mediante protocolo estándar (HTTP, FTP)	URL DOI temporal habilitada (Ilustración 3)	Garantizar acceso estable y conforme a los principios FAIR.
	Requiere autenticación	No requiere autenticación (Ilustración 3)	Facilitar la reutilización sin restricciones.
	Metadatos accesibles independientemente del dataset	Guardado en Google Drive (Ilustración 3)	Evitar la dependencia de almacenamiento privado.
I1: Interoperabilidad (Interoperable)	Uso de lenguaje formal y estandarizado	Implementado con esquema DDI (Ilustración 4)	No requiere modificaciones
	Uso de vocabularios controlados	Implementado en DDI (Ilustración 4)	Asegurar reconocimiento en FAIR-Checker
	Enlaces a recursos relacionados (publicaciones, proyectos)	Agregado dataset relacionado (Ilustración 5)	Incorporar publicaciones científicas asociadas
R1: Reutilización (Reusable)	Licencia clara para reutilización	No especificada (Ilustración 6)	Incluir Creative Commons Zero (CC0) en los metadatos
	Licencia legible por máquina	No implementada (Ilustración 6)	Integrar formato JSON-LD compatible con FAIR
R2: Procedencia y estándares	Información de procedencia (autor, fecha)	Incluida en metadatos (Ilustración 7)	Verificar reconocimiento en FAIR-Checker
	Estándares de la comunidad	No registrado (Ilustración 7)	Investigar estándares relevantes en bases científicas

Ilustración 45 Propuesta de cumplimiento.

Fuente: Elaboración propia.

VI. DISCUSIÓN

Tras aplicar evaluaciones con FAIR-Checker y el evaluador desarrollado en código, se obtuvo un porcentaje general de 80% de FAIRness. Desglosándose en 90% en localización, 85% en accesibilidad, 75% en interoperabilidad y 70% en reutilización. Estos resultados demuestran una estructura sólida, correctamente documentada, con metadatos adecuados construidos con vocabularios controlados (DDI) con el fin de propiciar la legibilidad por máquina. Los resultados, pese a ser muy positivos, también demuestran la existencia de múltiples retos. Surgieron limitaciones de forma específica en aspectos relacionados con localización (F1), accesibilidad en el subprincipio A1.2 y de forma general en la interoperabilidad. Sin embargo, lejos de ser una situación inesperada, es posible tomar puntos de referencia de estudios en los cuales se han llevado a cabo procesos de FAIRificación con dominios similares o con características comparables, debido a la carencia de estudios específicamente aplicados a datos inerciales, en los cuales también se han presentado retos similares.

Sinaci et al. (2020, 2023) y Lin et al. (2022) desarrollaron procesos basados en el modelo de FAIRificación de GO FAIR, sin embargo, aunque este sea un proceso guiado y estructurado, ellos confirman la necesidad de realizar adaptaciones según las particularidades de los datos con los que se está trabajando. En el presente trabajo, se optó por seguir una estrategia similar al adaptar el proceso propuesto por GO FAIR a los aspectos específicos de los datos inerciales empleados. El mismo caso surge con respecto a la validación, la literatura, que, si bien es cierto, valga la aclaración nuevamente, no son estudios aplicados a datos inerciales, pero son una pauta, promueven la validación de dos tipos. Entre los estudios se encuentran Benhamed et al. (2023), Devaraju & Huber (2021) y Liao et al. (2023), ellos coinciden en que una evaluación automática requiere de una intervención manual pues la automática no permite identificar limitaciones de aspectos semánticos o del contexto general que pueden ser aspectos fácilmente abordados por la persona.

En este estudio, su análisis de comprobó pues mediante la implementación de la herramienta desarrollada con código se detectaron múltiples problemas que no fueron detectados con la herramienta automática, específicamente con respecto a los vocabularios controlados y la estructuración de los metadatos que en muchas ocasiones es muy escasa.

Asimismo, cabe destacar la importancia de estructurar adecuadamente la información desde el inicio. Tanto Nijse et al. (2022) como Zarzoso Gaya (2024) advierten como el no contar con una planificación adecuada de la organización de los metadatos resulta en problemas en la etapa de evaluación, específicamente si se realiza de forma automática, algo que se pudo corroborar claramente en este trabajo. Si bien es cierto siempre se lograron mejoras tras realizar intervención manual, pero eso solo confirmó que la estructura inicial del *dataset* no fue lo suficiente para lograr altos niveles de interoperabilidad sin realizar ajustes adicionales.

También es importante señalar que, tal y como indican Benitez Lopez et al. (2022), Goble et al. (2020) y González et al. (2022), cuando se trabaja con ciertos datos, por ejemplo los inerciales, no solo es necesario mejorar la estructura técnica de los metadatos, sino que debe considerarse el desarrollo de terminologías específicas para este tipo de datos. En este proyecto, si bien se lograron avances incorporando vocabularios controlados en algunos campos, no fue posible establecer una ontología específica para los datos inerciales utilizados, lo que limitó el grado de interoperabilidad y reutilización alcanzado.

Sin embargo, a pesar de las limitaciones, la estrategia híbrida utilizada permitió identificar y corregir aspectos relevantes que de otra manera hubiesen pasado desapercibidos. En este sentido, el trabajo se alinea con lo propuesto por Da Silveira et al. (2024) y Mons et al. (2017), quienes destacan la importancia de adoptar identificadores persistentes y estándares reconocidos para mejorar tanto la accesibilidad como la interoperabilidad de los datos. Aunque estas acciones no se aplicaron completamente en esta tesis debido a limitaciones propias del proyecto, su incorporación futura podría contribuir a mejorar significativamente los resultados obtenidos.

Finalmente, es importante destacar que la experiencia adquirida en este proceso permite reafirmar que la combinación de un proceso adaptado de GO FAIR junto con una validación híbrida resulta no solo adecuada, sino necesaria cuando se trabaja con datos de características tan específicas como los inerciales clínicos. Este tipo de datos no siempre encajan en las métricas y evaluaciones automáticas disponibles, por lo que, tal y como también plantean Gouthamchand et al. (2021) y Jacobsen et al. (2020), será clave en el futuro desarrollar tanto vocabularios como indicadores adaptados a este tipo de datos.

Por otro lado, con respecto a la publicación oficial del dataset por parte del CTB, es importante que el equipo encargado de su difusión considere e integre las acciones de mejora propuestas, tales como la asignación de identificadores persistentes, el uso de vocabularios controlados adecuados y la implementación de mecanismos abiertos de acceso. Incorporar estos elementos no solo permitirá superar las limitaciones compartidas, sino que asegurará un mayor nivel de FAIRness, una mayor interoperabilidad y reutilización de los datos dentro de la comunidad científica.

VII. CONCLUSIONES

En este capítulo, se presentan las conclusiones obtenidas del presente proyecto de investigación, las cuales están alineadas con los objetivos establecidos inicialmente, tanto el general como los específicos.

7. 1. CONCLUSIÓN GENERAL

La estructuración de un *dataset* inercial basado en los principios FAIR representa un paso esencial para garantizar la trazabilidad, transparencia y reutilización de datos en el ámbito de la evaluación funcional de personas mayores. En el marco del proyecto MOTIVA, se logró organizar, documentar y validar un conjunto de datos obtenidos a partir de pruebas del SPPB y del programa VIVIFRAIL, sentando las bases para su futura publicación en el repositorio e-cienciaDatos y su integración en nuevas líneas de investigación.

Este trabajo abordó aspectos clave como la definición de una estructura de archivos, la implementación de metadatos estandarizados, el uso de formatos interoperables y la elaboración de documentación accesible. Estas acciones fortalecen la alineación del *dataset* con los principios FAIR, permitiendo que sea encontrable, accesible, interoperable y reutilizable por diversos usuarios y sistemas.

La evaluación del cumplimiento FAIR se realizó mediante un enfoque híbrido, que combinó herramientas automáticas con una validación técnica basada en código. Esta estrategia permitió integrar resultados cuantitativos generados por FAIR-Checker con un análisis más profundo obtenido a través de FAIRMetrics, ofreciendo una visión detallada del nivel de FAIRificación del *dataset*. Si bien inicialmente se consideró la aplicación de una evaluación manual, esta fue descartada al demostrarse redundante con los métodos ya aplicados. El resultado no solo es un conjunto de datos estructurado y documentado, sino un recurso científico alineado con estándares internacionales, preparado para su difusión, reutilización e integración en futuras investigaciones sobre movilidad, fragilidad y envejecimiento saludable.

7. 2. CONCLUSIONES PARCIALES

Se estableció una estructura clara y jerarquizada de carpetas, archivos y metadatos, que facilita la organización, interpretación y recuperación de los datos. Esta arquitectura permitió representar de forma precisa la procedencia de cada registro inercial.

- La adopción de formatos abiertos (CSV, XML, JSON) y el uso del estándar DDI para los metadatos aseguraron la interoperabilidad del *dataset* con herramientas de análisis y plataformas científicas. La incorporación de vocabularios controlados y estructuras legibles por máquina fortaleció la compatibilidad con sistemas FAIR y favoreció su integración en ecosistemas digitales más amplios.
- Se elaboró una documentación exhaustiva, incluyendo un archivo README detallado, una guía de usuario y descripciones completas de las variables. Esta documentación proporciona contexto metodológico, información sobre licenciamiento abierto (CC0) y detalles técnicos que facilitan la comprensión y reutilización del *dataset* por parte de otros investigadores.
- Se aplicó una evaluación híbrida del cumplimiento FAIR, mediante dos métodos automatizados: FAIR-Checker y un validador basado en código con FAIRMetrics. Este enfoque permitió analizar cuantitativa y cualitativamente el grado de alineación del *dataset* con los principios FAIR, revelando fortalezas en encontrabilidad y accesibilidad, así como aspectos mejorables en interoperabilidad semántica y reutilización automática.
- A partir de los resultados de la evaluación FAIR, se propusieron acciones para mejorar el nivel de FAIRness del *dataset* o cumplir con el porcentaje aún pendiente. Entre estas se incluyen la integración de un DOI definitivo, el fortalecimiento de vocabularios controlados y la incorporación de enlaces a recursos relacionados. Estas medidas permitirán optimizar el cumplimiento FAIR previo a su publicación, garantizando su sostenibilidad, visibilidad y utilidad a largo plazo.

VIII. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

Las propuestas a continuación están orientadas a mejorar los aspectos técnicos, metodológicos y operativos de futuros trabajos relacionados con la estructura de *datasets* con tipo de datos inerciales y la validación de FAIRness del mismo.

- Aunque se incorporó un DOI temporal durante el proceso de evaluación FAIR, el identificador persistente oficial aún no ha sido asignado, lo cual puede afectar parcialmente la trazabilidad del recurso en entornos automatizados. Esta situación será resuelta al momento de la publicación formal en el repositorio E-Ciencia Datos.
- El *dataset* y sus metadatos se almacenaron temporalmente en Google Drive, lo que limitó la capacidad de algunas herramientas automáticas para detectar correctamente ciertas características, como estructuras específicas de metadatos. Así mismo, aunque inicialmente se contempló aplicar una revisión manual del grado de FAIRificación, esta fue descartada por considerarse redundante con los métodos ya utilizados. No obstante, su exclusión pudo limitar la identificación de aspectos cualitativos más subjetivos, como aspectos narrativos de la documentación.
- Es fundamental completar el proceso de publicación en E-Ciencia Datos para garantizar la asignación de un identificador persistente, mejorar la accesibilidad y visibilidad, y asegurar la citación adecuada del recurso en investigaciones futuras.
- Para mejorar la interoperabilidad, se recomienda vincular el *dataset* con otros conjuntos de datos FAIR, publicaciones académicas y ontologías temáticamente relacionadas, fortaleciendo así su contexto y capacidad de integración. Sin embargo, debido a la falta de estos, puede representar una gran limitación para el cumplimiento de este principio.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Molina, K. G., & Arciniegas Castro, C. L. (2023). La inteligencia artificial y la limitación al derecho a la privacidad cibernética, en estudiantes de Jurisprudencia, Cuenca-Ecuador 2022: Artificial intelligence and the limitation of the right to cybernetic privacy, in students of Jurisprudence, Cuenca-Ecuador 2022. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1), 657-666. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.284>
- Abadal, E. (2019). Ciencia Abierta, un modelo por definir con muchos retos por delante. *Hipertext.net*, 19, 1-12. <https://doi.org/10.31009/hipertext.net.2019.i19.01>
- Abadal, E. (2021). Ciencia abierta: Un modelo con piezas por encajar. *Arbor*, 197(799), a588. <https://doi.org/10.3989/arbor.2021.799003>
- Acevedo Hernandez, G. A., & Pinzón Ardila, O. (2024). Desarrollo de un sistema electrónico para comunicación remota en dispositivos industriales Modbus RTU a través de MQTT. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(43), 44-50. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i43.2800>
- Acosta-Benito, M. Á., & Martín-Lesende, I. (2022). [Frailty in primary care: Diagnosis and multidisciplinary management]. *Atencion Primaria*, 54(9), 102395. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2022.102395>
- Adhikari, R. D. (2020). Ageing Persons and Rising Responsibilities of Family Caregivers: Minireview. *Global Journal of Aging & Geriatric Research*, 1(1). <https://doi.org/10.33552/GJAGR.2020.01.000503>
- Aguilar Gómez, F., & Bernal, I. (2023). FAIR EVA: Bringing institutional multidisciplinary repositories into the FAIR picture. *Scientific Data*, 10(1), 764. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02652-8>
- Allison, R., Assadzandi, S., & Adelman, M. (2021). Frailty: Evaluation and Management. *American Family Physician*, 103(4), 219-226.
- Alonso Bouzón, C., & Rodríguez Mañas, L. (2021). La experiencia europea ADVANTAGE para el manejo de la fragilidad: Claves sobre su aplicabilidad en América Latina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.107>
- Alryalat, S. A., Malkawi, L., & Farah, R. (2023). Reporting studies conducted using Open Access

- Data (ROAD) guideline statement: Reporting studies conducted using Open Access Data. *High Yield Medical Reviews*, 1(2). <https://doi.org/10.59707/hymrUNIE2175>
- Amdouni, E., Bouazzouni, S., & Jonquet, C. (2022). O'FAIRe makes you an offer: Metadata-based automatic FAIRness assessment for ontologies and semantic resources. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 16(1), 16-46. <https://doi.org/10.1504/IJMSO.2022.131133>
- Amdouni, E., & Jonquet, C. (2022). FAIR or FAIRer? An Integrated Quantitative FAIRness Assessment Grid for Semantic Resources and Ontologies. En E. Garoufallou, M.-A. Ovalle-Perandones, & A. Vlachidis (Eds.), *Metadata and Semantic Research* (Vol. 1537, pp. 67-80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98876-0_6
- Ávila-Barrientos, E. (2020). Análisis de los principios para la descripción de datos de investigación mediante Datacite Metadata Schema: Analysis of the principles for the description of research data by Datacite Metadata Schema. *Anales de Documentación*, 23(1). <https://doi.org/10.6018/analesdoc.400341>
- Ávila-Barrientos, E. (2023). La gobernanza de los datos de investigación en el contexto de su organización y sistematización. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, 37(96), 45-64. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2023.96.58763>
- Aznielle Rodríguez, Tania, Machado Morciego, Beatriz, Serrano Blanco, & Leisy, Menéndez Álvarez. (2023). Unidades de Medición Inercial: Una alternativa promisoría en la evaluación de la marcha. *EAC [online].*, vol.44(3).
- Baba, T., Watanabe, M., Ogihara, H., Handa, S., Sasamoto, K., Okada, S., Okuizumi, H., & Kimura, T. (2023). Validity of temporo-spatial characteristics of gait as an index for fall risk screening in community-dwelling older people. *Journal of Physical Therapy Science*, 35(3), 265-269. <https://doi.org/10.1589/jpts.35.265>
- BaHammam, A. S., & Chee, M. W. (2022). Publicly Available Health Research Datasets: Opportunities and Responsibilities. *Nature and Science of Sleep*, Volume 14, 1709-1712. <https://doi.org/10.2147/NSS.S390292>
- Bai, Y., Marco, N. R., Jia, W., Zgibor, J., Burke, L. E., Albert, S. M., Newman, A. B., Mao, Z., Sun, M.,

- Zhang, H., & Yuan, D. (2018). Electronic Platform for Automatic Short Physical Performance Battery (SPPB) Test. 2018 15th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks (I-SPAN), 311-317. <https://doi.org/10.1109/I-SPAN.2018.00060>
- Barahona, A., Espín, C. M., Velásquez, C., & Pozo, J. (2021). Estado Nutricional y factores de riesgo para enfermedad crónica no transmisible en ancianos de la población El Juncal, Ecuador. *La U Investiga*, 8(1), 9-21. <https://doi.org/10.53358/lauinvestiga.v8i1.358>
- Barker, M., Chue Hong, N. P., Katz, D. S., Lamprecht, A.-L., Martinez-Ortiz, C., Psomopoulos, F., Harrow, J., Castro, L. J., Gruenpeter, M., Martinez, P. A., & Honeyman, T. (2022). Introducing the FAIR Principles for research software. *Scientific Data*, 9(1), 622. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01710-x>
- Bazrafkan, L., Mohseni, R., Hamidi, F., & Mohseni, Z. (2022). Evaluation of health services to The residents of UNHR in Sarvestan refugee camp based on the responsive evaluation model in the Covid epidemic 19. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2040335/v1>
- Beigel, M. F. (2022). El proyecto de ciencia abierta en un mundo desigual. *Relaciones Internacionales*, 50, 163-181. <https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2022.50.008>
- Benhamed, O. M., Burger, K., Kaliyaperumal, R., Da Silva Santos, L. O. B., Suchánek, M., Slifka, J., & Wilkinson, M. D. (2023). The FAIR Data Point: Interfaces and Tooling. *Data Intelligence*, 5(1), 184-201. https://doi.org/10.1162/dint_a_00161
- Benitez Lopez, A., Corcho Garcia, Dr. O., Garijo Verdejo, Dr. D., & Gonzalez Guardia, E. (2022). Métricas, Método y Herramientas para la Validación del Grado de FAIRness de un Research Object. https://oa.upm.es/71396/1/TFM_ALEJANDRO_BENITEZ_LOPEZ.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Bernabei, R., Landi, F., Calvani, R., Cesari, M., Del Signore, S., Anker, S. D., Bejuit, R., Bordes, P., Cherubini, A., Cruz-Jentoft, A. J., Di Bari, M., Friede, T., Gorostiaga Ayestarán, C., Goyeau, H., Jónsson, P. V., Kashiwa, M., Lattanzio, F., Maggio, M., Mariotti, L., ... Marzetti, E. (2022). Multicomponent intervention to prevent mobility disability in frail older adults: Randomised controlled trial (SPRINTT project). *BMJ*, e068788.

- <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-068788>
- Bertolazzi, A., Quaglia, V., & Bongelli, R. (2024). Barriers and facilitators to health technology adoption by older adults with chronic diseases: An integrative systematic review. *BMC Public Health*, 24(1), 506. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-18036-5>
- Betances Reinoso, F. A., Lopez Montes, T., Rodríguez Ontiveros, V. M., & Chiesa Estomba, C. (2020). Análisis de la marcha y el equilibrio mediante el uso de sensores inerciales: Estudio prospectivo, longitudinal, no aleatorio. *Ciencia y Salud*, 4(1), 11-16. <https://doi.org/10.22206/cysa.2020.v4i1.pp11-16>
- Bi, X. (2017). Quality open access publishing and registration to Directory of Open Access Journals. *Science Editing*, 4(1), 3-11. <https://doi.org/10.6087/kcse.82>
- Bisong, E. (2019). Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform: A Comprehensive Guide for Beginners. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4470-8>
- Bitencourt, T., Klitzke Dos Santos, F. M., & Soares, A. V. (2020). Relação entre a Funcionalidade e a Capacidade Motora de Pacientes Pós-AVC na Fase Aguda. *Revista Neurociências*, 28, 1-18. <https://doi.org/10.34024/rnc.2020.v28.10241>
- Blanco-Rivera, J. A. (2021). Tendencias y desafíos en la creación de metadatos en proyectos de archivo de la web. *e-Ciencias de la Información*. <https://doi.org/10.15517/eci.v12i1.46249>
- Bosnes, I., Nordahl, H. M., Stordal, E., Bosnes, O., Myklebust, T. Å., & Almkvist, O. (2019). Lifestyle predictors of successful aging: A 20-year prospective HUNT study. *PloS One*, 14(7), e0219200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219200>
- Bousquet, J., Kuh, D., Bewick, M., Standberg, T., Farrell, J., Pengelly, R., Joel, M. E., Rodriguez Mañas, L., Mercier, J., Bringer, J., Camuzat, T., Bourret, R., Bedbrook, A., Kowalski, M. L., Samolinski, B., Bonini, S., Brayne, C., Michel, J. P., Venne, J., ... Zins, M. (2015). Operational definition of Active and Healthy Ageing (AHA): A conceptual framework. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 19(9), 955-960. <https://doi.org/10.1007/s12603-015-0589-6>
- Calvo Higuera, I., & Gomez Carrillo, A. (2023). Sarcopenia y envejecimiento saludable: Reporte de caso. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 6(1). <https://doi.org/10.35454/rncm.v6n1.499>

- Cantú-Martínez, P. C. (2022). Envejecimiento saludable y condiciones sociales de los adultos mayores en México. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 19, 1-12. <https://doi.org/10.14422/rib.i19.y2022.005>
- Cao, Y., Bai, H., Jin, K., & Zou, G. (2023). An GNSS/INS Integrated Navigation Algorithm Based on PSO-LSTM in Satellite Rejection. *Electronics*, 12(13), 2905. <https://doi.org/10.3390/electronics12132905>
- Carrasco Diaz, B., & Araya, A.-X. (2023). SOLEDAD Y FRAGILIDAD EN PERSONAS MAYORES QUE VIVEN EN COMUNIDAD: UNA REVISIÓN INTEGRATIVA. *Horizonte de enfermería*, NE. https://doi.org/10.7764/Horiz_Enferm.Num.esp.332-348
- Casales-Hernández, M. G., Molina-Cuevas, V., Gloria-Hernández, L. E., Díaz-Aguilera, M. A., & Malo-Serrano, H. M. (2022). Resultados preliminares de la Iniciativa HEARTS en México: Facilitadores y barreras de los sistemas de información. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.167>
- Casas-Herrero, Á., Sáez De Asteasu, M. L., Antón-Rodrigo, I., Sánchez-Sánchez, J. L., Montero-Odasso, M., Marín-Epelde, I., Ramón-Espinoza, F., Zambom-Ferraresi, F., Petidier-Torregrosa, R., Elexpuru-Estomba, J., Álvarez-Bustos, A., Galbete, A., Martínez-Velilla, N., & Izquierdo, M. (2022). Effects of Vivifrail multicomponent intervention on functional capacity: A multicentre, randomized controlled trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(2), 884-893. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12925>
- Castellanos-Ruíz, J., Montealegre-Mesa, L. M., Martínez-Toro, B. D., Gallo-Serna, J. J., & Almanza-Fuentes, O. (2020). Uso de sensores inerciales en fisioterapia: Una aproximación a procesos de evaluación del movimiento humano. *Universidad y Salud*, 23(1), 55-63. <https://doi.org/10.22267/rus.212301.214>
- Cesari, M., Vellas, B., Hsu, F.-C., Newman, A. B., Doss, H., King, A. C., Manini, T. M., Church, T., Gill, T. M., Miller, M. E., Pahor, M., & for the LIFE Study Group. (2015). A Physical Activity Intervention to Treat the Frailty Syndrome in Older Persons—Results From the LIFE-P Study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 70(2), 216-222. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu099>
- Chandel, G., Sahimkhan, P., Verma, S., & Sharm, A. (2023). Machine Learning Based Remote

- Sensing Technique for Analysis of The Glaciated Regions. *E3S Web of Conferences*, 405, 02019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340502019>
- Chen, S.-H., Lee, C.-H., Jiang, B. C., & Sun, T.-L. (2021). Using a Stacked Autoencoder for Mobility and Fall Risk Assessment via Time–Frequency Representations of the Timed Up and Go Test. *Frontiers in Physiology*, 12, 668350. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.668350>
- Chia, F., Huang, W.-Y., Huang, H., & Wu, C.-E. (2023). Promoting Healthy Behaviors in Older Adults to Optimize Health-Promoting Lifestyle: An Intervention Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1628. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021628>
- Chowdhury, D., Stolee, P., Sims-Gould, J., & Tong, C. (2023). “Think positive and don’t die alone”—Foreign-born, South Asian older adults’ perceptions on healthy aging. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being*, 18(1), 2253576. <https://doi.org/10.1080/17482631.2023.2253576>
- Clarke, D. J. B., Wang, L., Jones, A., Wojciechowicz, M. L., Torre, D., Jagodnik, K. M., Jenkins, S. L., McQuilton, P., Flamholz, Z., Silverstein, M. C., Schilder, B. M., Robasky, K., Castillo, C., Idaszak, R., Ahalt, S. C., Williams, J., Schurer, S., Cooper, D. J., De Miranda Azevedo, R., ... Ma’ayan, A. (2019). FAIRshake: Toolkit to Evaluate the FAIRness of Research Digital Resources. *Cell Systems*, 9(5), 417-421. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2019.09.011>
- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752-762. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)62167-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)62167-9)
- Cobo, A., Villalba-Mora, E., Pérez-Rodríguez, R., Ferre, X., & Rodríguez-Mañas, L. (2021). Unobtrusive Sensors for the Assessment of Older Adult’s Frailty: A Scoping Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(9), 2983. <https://doi.org/10.3390/s21092983>
- Cristofori, G., Aguado Ortego, R., & Gómez Pavón, J. (2023). Concepto y manejo práctico de la fragilidad en neurología. *Revista de Neurología*, 76(10), 327. <https://doi.org/10.33588/rn.7610.2023124>
- Cunha, A. N. D., Zanetti, M. L., Santos, J. L. F., & Rodrigues, R. A. P. (2023). Síndrome de la Fragilidad y sarcopenia en ancianos con y sin diabetes mellitus tipo 2 del municipio de Sinop, Mato Grosso: Un estudio epidemiológico. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 31, e4076.

- <https://doi.org/10.1590/1518-8345.6677.4076>
- d'Aquin, M., Kirstein, F., Oliveira, D., Schimmler, S., & Urbanek, S. (2023). FAIREST: A Framework for Assessing Research Repositories. *Data Intelligence*, 5(1), 202-241. https://doi.org/10.1162/dint_a_00159
- Da Silveira, M., Freudenthal, O., & Deladiennee, L. (2024). FAIR evaluation of ten widely used chemical datasets: Lessons learned and recommendations (Versión 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2407.15591>
- Dabove, M. I. (2023). Cuidados gerontológicos de largo plazo. Los derechos de las personas mayores como meta política. *Política y Sociedad*, 60(2), e88577. <https://doi.org/10.5209/poso.88577>
- Dames, H., Musfeld, P., Popov, V., Oberauer, K., & Frischkorn, G. T. (2024). Responsible Research Assessment Should Prioritize Theory Development and Testing Over Ticking Open Science Boxes. *Meta-Psychology*, 8. <https://doi.org/10.15626/MP.2023.3735>
- DDI Alliance. (2024). DDI Alliance Strategic Plan, 2024-2027. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.13306674>
- De Visser, C., Johansson, L. F., Kulkarni, P., Mei, H., Neerincx, P., Joeri Van Der Velde, K., Horvatovich, P., Van Gool, A. J., Swertz, M. A., Hoen, P. A. C. 'T, & Niehues, A. (2023a). Ten quick tips for building FAIR workflows. *PLOS Computational Biology*, 19(9), e1011369. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011369>
- De Visser, C., Johansson, L. F., Kulkarni, P., Mei, H., Neerincx, P., Joeri Van Der Velde, K., Horvatovich, P., Van Gool, A. J., Swertz, M. A., Hoen, P. A. C. 'T, & Niehues, A. (2023b). Ten quick tips for building FAIR workflows. *PLOS Computational Biology*, 19(9), e1011369. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011369>
- Dent, E., Daly, R. M., Hoogendijk, E. O., & Scott, D. (2023). Exercise to Prevent and Manage Frailty and Fragility Fractures. *Current Osteoporosis Reports*, 21(2), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s11914-023-00777-8>
- Dent, E., Morley, J. E., Cruz-Jentoft, A. J., Woodhouse, L., Rodríguez-Mañas, L., Fried, L. P., Woo, J., Aprahamian, I., Sanford, A., Lundy, J., Landi, F., Beilby, J., Martin, F. C., Bauer, J. M., Ferrucci, L., Merchant, R. A., Dong, B., Arai, H., Hoogendijk, E. O., ... Vellas, B. (2019). Physical Frailty:

- ICFSR International Clinical Practice Guidelines for Identification and Management. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 23(9), 771-787. <https://doi.org/10.1007/s12603-019-1273-z>
- Department of Community Health Nursing, and Geriatric Nursing, School of Nursing & Midwifery, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran., Bastani, F., Haghani, H., & Department of Statistics, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (2022). Perceived Stress and Fear of COVID-19 Among the Elderly Referred to Comprehensive Health Centers in Tehran, Iran. *The Iran Journal of Nursing*, 35(136), 134-149. <https://doi.org/10.32598/ijn.35.2.256.16>
- Dev, R., Zaslavsky, O., Cochrane, B., Eagen, T., & Woods, N. F. (2020). Healthy aging through the lens of community-based practitioners: A focus group study. *BMC Geriatrics*, 20(1), 211. <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01611-x>
- Devaraju, A., & Huber, R. (2021). An automated solution for measuring the progress toward FAIR research data. *Patterns*, 2(11), 100370. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100370>
- Devaraju, A., & Huber, R. (2024). F-UJI - An Automated FAIR Data Assessment Tool (Versión v3.4.0) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6361400>
- Devaraju, A., Huber, R., Mokrane, M., Herterich, P., Cepinskas, L., de Vries, J., L'Hours, H., Davidson, J., & White, A. (2020). FAIRsFAIR Data Object Assessment Metrics. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4081213>
- Devignes, M.-D., Smaïl-Tabbone, M., Dhondge, H., Dolcemascolo, R., Gavaldá-García, J., Higuera-Rodríguez, R. A., Kravchenko, A., Roca Martínez, J., Messini, N., Pérez-Ràfols, A., Pérez Ropero, G., Sperotto, L., Chauvot De Beauchêne, I., & Vranken, W. (2023). Experiences with a training DSW knowledge model for early-stage researchers. *Open Research Europe*, 3, 97. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.15609.1>
- Dugarte Jerez, N., Alvarez Abril, A., Alvarado Riviera, N. W., Gómez, C. M., Lattuca, A., Sosa Barraco, G. M., Dugarte Dugarte, E. D. C., & Lombardo, G. (2024). Sistema biométrico para el análisis de la marcha utilizando unidades de medida inerciales (IMU). *Revista Tecnología y Ciencia*, 49, 47-67. <https://doi.org/10.33414/rtyc.49.47-67.2024>
- Dysarz, T. (2020). Development of methodology for assessment of long-term morphodynamic

- impact on flood hazard. *Journal of Flood Risk Management*, 13(4), e12654.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12654>
- Eidam, A., Durga, J., Bauer, J. M., Zimmermann, S., Vey, J. A., Rapp, K., Schwenk, M., Cesari, M., & Benzinger, P. (2024). Interventions to prevent the onset of frailty in adults aged 60 and older (PRAE-Frail): A systematic review and network meta-analysis. *European Geriatric Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s41999-024-01013-x>
- Elsayed, E., Radwan, E., & Fadila, D. (2024). The Effects of Health Promotion Program on Healthy Aging, Wellbeing and Health Promoting Behaviour among Community Dwelling Older Adults. *NILES Journal for Geriatric and Gerontology*, 7(2), 417-442.
<https://doi.org/10.21608/niles.2024.353844>
- Ertem, U. (2021). EVALUATION OF HEALTH LITERACY LEVEL AND RELATED FACTORS IN OLDER ADULT PATIENTS. *The Turkish Journal of Geriatrics*, 24(4), 490-498.
<https://doi.org/10.31086/tjgeri.2021.246>
- Fernández-Revelles, A. B., Rangel García, J. A., & Loza Herbella, J. (2023). EFFECT OF 36 WEEKS OF MULTICOMPONENT PHYSICAL EXERCISE FOR THE PREVENTION OF FRAGILITY IN PEOPLE OVER 65. *Journal of Sport and Health Research*, 15(Supl. 1).
<https://doi.org/10.58727/jshr.102762>
- Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., Seeman, T., Tracy, R., Kop, W. J., Burke, G., McBurnie, M. A., & Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group. (2001). Frailty in older adults: Evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(3), M146-156.
<https://doi.org/10.1093/gerona/56.3.m146>
- Friedrich, B., Lau, S., Elgert, L., Bauer, J. M., & Hein, A. (2021). A Deep Learning Approach for TUG and SPPB Score Prediction of (Pre-) Frail Older Adults on Real-Life IMU Data. *Healthcare*, 9(2), 149. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020149>
- Gaignard, A., Rosnet, T., De Lamotte, F., Lefort, V., & Devignes, M.-D. (2023). FAIR-Checker: Supporting digital resource findability and reuse with Knowledge Graphs and Semantic Web standards. *Journal of Biomedical Semantics*, 14(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13326-023-00289-5>

- Gálvez, E., Cruz, P. y Cruz, G. (2022). La política pública en México en materia de la tercera edad. En P. C. CantúMartínez (ed.), *Adulto Mayor y Envejecimiento* (pp. 47-58). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Garcia, R. F. (2020) Estudio de viabilidad de sensores inerciales (IMUs) para el análisis de Timed Up & Go test. (s. f.).
- García-Espinosa, J., & Soriano, C. (2021). Data management plan. Scipedia. <https://doi.org/10.23967/prodphd.2021.9.003>
- Garijo, Daniel, Corcho, Oscar, & Poveda-Villal. (2021). FOOPS!: An Ontology Pitfall Scanner for the FAIR Principle. International Semantic Web Conference (ISWC) 2021: Posters, Demos, and Industry Tracks. https://foops.linkeddata.es/assets/iswc_2021_demo.pdf
- Gärtner, A., Leising, D., Freyer, N., Musfeld, P., Lange, J., & Schönbrodt, F. D. (2022). Responsible Research Assessment II: A specific proposal for hiring and promotion in psychology. <https://doi.org/10.31234/osf.io/5yexm>
- Gaska, I., Sygit, K., Cipora, E., Sygit, M., & Krakowiak, J. (2020). Factors determining health behaviours of the 50+ population with cardiovascular diseases. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 27(1), 99-105. <https://doi.org/10.26444/aaem/118194>
- Gebre, E. H., & Morales, E. (2020). How “accessible” is open data?: Analysis of context-related information and users’ comments in open datasets. *Information and Learning Sciences*, 121(1/2), 19-36. <https://doi.org/10.1108/ILS-08-2019-0086>
- Ghazali, S., Aziz, A. A., & Amin, R. M. (2023). Healthy Aging and its Determinants Among Community-dwelling Older Persons in East Coast, Malaysia: A Multidimensional Assessment. *Oman Medical Journal*, 38(6), e573. <https://doi.org/10.5001/omj.2023.124>
- Ghosh, A., Kundu, M., Devasenapathy, N., Woodward, M., & Jha, V. (2023). Frailty among middle-aged and older women and men in India: Findings from wave 1 of the longitudinal Ageing study in India. *BMJ Open*, 13(7), e071842. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-071842>
- Goble, C., Cohen-Boulakia, S., Soiland-Reyes, S., Garijo, D., Gil, Y., Crusoe, M. R., Peters, K., & Schober, D. (2020). FAIR Computational Workflows. *Data Intelligence*, 2(1-2), 108-121. https://doi.org/10.1162/dint_a_00033
- González Argote, J. (2022). Open abstracts and open citations: Towards open science with high

- standards. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 2, 100. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2022100>
- González, E., Benítez, A., & Garijo, D. (2022). FAIROs: Towards FAIR Assessment in Research Objects. En G. Silvello, O. Corcho, P. Manghi, G. M. Di Nunzio, K. Golub, N. Ferro, & A. Poggi (Eds.), *Linking Theory and Practice of Digital Libraries* (Vol. 13541, pp. 68-80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16802-4_6
- González-García, A., Mota-Hernández, E., Olguín-Estrada, C., Maya-Sánchez, A., López-Nolasco, B., & Cano-Estrada, E. A. (2023). Nivel de dependencia funcional de los adultos mayores de la comunidad de Tula de Allende. *Revista de Enfermería Neurológica*, 21(3). <https://doi.org/10.51422/ren.v21i3.396>
- Gouthamchand, V., Dekker, A., Wee, L., & Van Soest, J. (2021). FAIR-IFICATION OF STRUCTURED CLINICAL DATA. <https://doi.org/10.1101/2021.07.23.21261032>
- Groenen, K. H. J., Jacobsen, A., Kersloot, M. G., Vieira, B., Van Enkevort, E., Kaliyaperumal, R., Arts, D. L., 'T Hoen, P. A. C., Cornet, R., Roos, M., & Kool, L. S. (2020). The de novo FAIRification process of a registry for vascular anomalies. <https://doi.org/10.1101/2020.12.12.20245951>
- Guallar, J., Hernández-Campillo, T. R., & Codina, L. (2022). Curación de contenidos en artículos científicos. Categorías y casos. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 24(3), 469-490. <https://doi.org/10.36390/telos243.02>
- Guevara-Pezoa, F. (2023). La ciencia abierta y su relación con la innovación: Una revisión bibliométrica. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, 37(96), 109-128. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2023.96.58778>
- Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., Scherr, P. A., & Wallace, R. B. (1994). A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association With Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission. *Journal of Gerontology*, 49(2), M85-M94. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.M85>
- Hanada, M., Yamauchi, K., Miyazaki, S., Oyama, Y., Yanagita, Y., Sato, S., Miyazaki, T., Nagayasu, T., & Kozu, R. (2020). Short-Physical Performance Battery (SPPB) score is associated with postoperative pulmonary complications in elderly patients undergoing lung resection surgery: A prospective multicenter cohort study. *Chronic Respiratory Disease*, 17,

1479973120961846. <https://doi.org/10.1177/1479973120961846>

- Horch, K. (2021). Searching for health information on the Internet – Results from the KomPaS study. Robert Koch-Institut. <https://doi.org/10.25646/7147>
- Instituto Nacional de Estadística INE. (2024). Proyecciones de Población Años 2024—2074. <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/es/PROP20242074.htm>
- Jacobsen, A., De Miranda Azevedo, R., Juty, N., Batista, D., Coles, S., Cornet, R., Courtot, M., Crosas, M., Dumontier, M., Evelo, C. T., Goble, C., Guizzardi, G., Hansen, K. K., Hasnain, A., Hettne, K., Heringa, J., Hooft, R. W. W., Imming, M., Jeffery, K. G., ... Schultes, E. (2020). FAIR Principles: Interpretations and Implementation Considerations. *Data Intelligence*, 2(1-2), 10-29. https://doi.org/10.1162/dint_r_00024
- Jacobsen, A., Kaliyaperumal, R., Da Silva Santos, L. O. B., Mons, B., Schultes, E., Roos, M., & Thompson, M. (2020). A Generic Workflow for the Data FAIRification Process. *Data Intelligence*, 2(1-2), 56-65. https://doi.org/10.1162/dint_a_00028
- Jang, H.-Y. (2020). Factors Associated with Successful Aging among Community-Dwelling Older Adults Based on Ecological System Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3220. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093220>
- Jiao, D., Li, X., Zhu, Z., Zhang, J., Liu, Y., Cui, M., Matsumoto, M., Banu, A. A., Sawada, Y., Watanabe, T., Tanaka, E., & Anme, T. (2023). Latent Subtype of Cognitive Frailty among Multimorbidity Older Adults and Their Association with Social Relationships. *Healthcare*, 11(13), 1933. <https://doi.org/10.3390/healthcare11131933>
- Jiménez González, L. L. (2020). IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA EN LA ACTUALIDAD. Coordinadora de Investigación del Instituto Superior Tecnológico Particular Sudamericano, Cuenca. <https://revista.sudamericano.edu.ec/index.php/convergence/article/view/35/33>
- Juca Rodríguez, C. R., Lara Marqués, B. J., & Tarco Chafía, D. A. (2023). ESTUDIO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ENTRE LOGO V8 Y VARIADOR DE FRECUENCIA ABB. *TECH CARLOS CISNEROS*, 03. <https://doi.org/10.59540/tech.vi03.16>
- Jung, S., Michaud, M., Oudre, L., Dorveaux, E., Gorintin, L., Vayatis, N., & Ricard, D. (2020). The Use of Inertial Measurement Units for the Study of Free Living Environment Activity

- Assessment: A Literature Review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 20(19), 5625. <https://doi.org/10.3390/s20195625>
- Kaewsuphan, W., Popa, A., Maneesakprasert, S., Meeton, A., & Pimboon, B. (2023). Health Behavior and Recreational Activity of Elderly People in Elderly Schools of Thailand. *Universal Journal of Public Health*, 11(1), 27-33. <https://doi.org/10.13189/ujph.2023.110104>
- Keating, N. C., Rodríguez Mañas, L., & De Francisco, A. (2021). Hacia el envejecimiento saludable en América Latina y el Caribe: ¿no dejar a nadie atrás? *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.120>
- Kim, J., & Choi, S. (2024). Timed Up and Go Test and Prediction of Injurious Falls among Older Adults by Sex: A Population-based Cohort Study. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4521597/v1>
- Kohls, A., & Mele, S. (2018). Converting the Literature of a Scientific Field to Open Access through Global Collaboration: The Experience of SCOAP3 in Particle Physics. *Publications*, 6(2), 15. <https://doi.org/10.3390/publications6020015>
- Lee, S. Y., Choo, P. L., Pang, B. W. J., Lau, L. K., Jabbar, K. A., Seah, W. T., Chen, K. K., Ng, T. P., & Wee, S.-L. (2021). SPPB reference values and performance in assessing sarcopenia in community-dwelling Singaporeans – Yishun study. *BMC Geriatrics*, 21(1), 213. <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02147-4>
- Li, M., Huang, Y., Liu, Z., Shen, R., Chen, H., Ma, C., Zhang, T., Li, S., & Prince, M. (2020). The association between frailty and incidence of dementia in Beijing: Findings from 10/66 dementia research group population-based cohort study. *BMC Geriatrics*, 20(1), 138. <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01539-2>
- Liao, X., Ederveen, T. H. A., Niehues, A., De Visser, C., Huang, J., Badmus, F., Doornbos, C., Orlova, Y., Kulkarni, P., Van Der Velde, K. J., Swertz, M. A., Brandt, M., Van Gool, A. J., & 'T Hoen, P. A. C. (2023). FAIR Data Cube, a FAIR data infrastructure for integrated multi-omics data analysis. <https://doi.org/10.1101/2023.04.23.23289000>
- Lin, P.-H., Liao, C., Chen, W., Vanderbruggen, T., Emani, M., & Xu, H. (2022). Making Machine Learning Datasets and Models FAIR for HPC: A Methodology and Case Study (Versión 1). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2211.02092>

- Lnenicka, M., & Komarkova, J. (2019). Big and open linked data analytics ecosystem: Theoretical background and essential elements. *Government Information Quarterly*, 36(1), 129-144. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.11.004>
- Maddi, A. (2020). Measuring open access publications: A novel normalized open access indicator. *Scientometrics*, 124(1), 379-398. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03470-0>
- Majumder, S., Chakraborty, J., Bai, G. R., Stolee, K. T., & Menzies, T. (2021). Fair Enough: Searching for Sufficient Measures of Fairness (Versión 2). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2110.13029>
- Mayer, G., Müller, W., Schork, K., Uszkoreit, J., Weidemann, A., Wittig, U., Rey, M., Quast, C., Felden, J., Glöckner, F. O., Lange, M., Arend, D., Beier, S., Junker, A., Scholz, U., Schüler, D., Kestler, H. A., Wibberg, D., Pühler, A., ... Turewicz, M. (2021). Implementing FAIR data management within the German Network for Bioinformatics Infrastructure (de.NBI) exemplified by selected use cases. *Briefings in Bioinformatics*, 22(5), bbab010. <https://doi.org/10.1093/bib/bbab010>
- Mena Roa, M. (2022, septiembre 29). Infografía: Cerca del 10% de la población mundial tiene más de 65 años. Statista Daily Data. <https://es.statista.com/grafico/23071/poblacion-mayor-de-65-anos-como-porcentaje-de-la-poblacion-mundial-total>
- Menassa, M., Stronks, K., Khatmi, F., Roa Díaz, Z. M., Espinola, O. P., Gamba, M., Itodo, O. A., Buttia, C., Wehrli, F., Minder, B., Velarde, M. R., & Franco, O. H. (2023). Concepts and definitions of healthy ageing: A systematic review and synthesis of theoretical models. *EClinicalMedicine*, 56, 101821. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2022.101821>
- Méndez, E. (2021). Open Science por defecto. La nueva normalidad para la investigación. *Arbor*, 197(799), a587. <https://doi.org/10.3989/arbor.2021.799002>
- Menéndez Álvarez, J., Arencibia Castellanos, Gianna [, Hernández Montero, Fidel Ernesto, Rodríguez Suárez, Juan R., & Pérez Molinet, Ailén [. (2020). Sistema electrónico experimental para la medición de variables de parámetros de marcha en ancianos. *Revista de Ciencia y Tecnología: RECyT*, Vol. 33(No. 1, 2020), págs. 108-115.
- Metanmo, S., Simo-Tabue, N., Kuate-Tegueu, C., Bonnet, M., Gbessemehlan, A., Metanmo, F., Dramé, M., & Tabue-Teguo, M. (2023). Short Physical Performance Battery and Study of

- Osteoporotic Fractures Index in the Exploration of Frailty Among Older People in Cameroon. *International Journal of Public Health*, 68, 1605900.
<https://doi.org/10.3389/ijph.2023.1605900>
- Mila Maldonado, F. L., Yáñez Yáñez, K. A., & Mantilla Salgado, J. D. (2021). Una aproximación a la metodología de la investigación jurídica. *Revista Pedagogía Universitaria y Didáctica del Derecho*, 8(2), 81. <https://doi.org/10.5354/0719-5885.2021.60341>
- Mons, B., Neylon, C., Velterop, J., Dumontier, M., Da Silva Santos, L. O. B., & Wilkinson, M. D. (2017). Cloudy, increasingly FAIR; revisiting the FAIR Data guiding principles for the European Open Science Cloud. *Information Services and Use*, 37(1), 49-56.
<https://doi.org/10.3233/ISU-170824>
- Muneera, K., Muhammad, T., Pai, M., Ahmed, W., & Althaf, S. (2023). Associations between intrinsic capacity, functional difficulty, and fall outcomes among older adults in India. *Scientific Reports*, 13(1), 9829. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37097-x>
- Musci, M., Aresta, S., Sardone, R., & Bortone, I. (2022). Technology-based assessment of Short Physical Performance Battery in elderly population. *Gait & Posture*, 97, 16-17.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.09.032>
- Namazi, A. (2020). Health Literacy and Its Related Factors in Non-Medical College Students. *Journal of Holistic Nursing And Midwifery*, 30(4), 233-239.
<https://doi.org/10.32598/jhnm.30.4.2023>
- Navalón Alcañiz, R., & Martínez González-Moro, I. (2020). Valoración del grado de deterioro funcional y fragilidad en adultos mayores activos (Assessment of the degree of functional impairment and fragility in active elderly). *Retos*, 38, 576-581.
<https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.78252>
- Nazim, M., & Zia, S. (2020). Use of Open Access Publishing by Researchers an Analysis of Open Access Availability of Research Literature in the field of Digital Library. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 40(01), 366-373.
<https://doi.org/10.14429/djlit.40.01.15045>
- Nijse, B., Schaap, P. J., & Koehorst, J. J. (2022). FAIR data station for lightweight metadata management and validation of omics studies. *GigaScience*, 12, giad014.

<https://doi.org/10.1093/gigascience/giad014>

Ocampo-Chaparro, J. M., Departamento de Medicina Interna, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Libre, Cali, Colombia, Reyes-Ortiz, C. A., & Institute of Public Health, College of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Florida A & M University, USA. (2021). Efecto conjunto de deterioro cognitivo y condición sociofamiliar sobre el estado funcional en adultos mayores hospitalizados. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 53. <https://doi.org/10.14349/rlp.2021.v53.3>

Organizacion de Naciones Unidas (ONU). (2022). *World Population Prospects 2022*. Department of economic and social affairs.

Organización Mundial de la Salud. (2024, octubre 1). Envejecimiento y salud. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>

Palacios Freire, M. A., Ortega Chancay, M. C., Sierra Nieto, V. H., & Sánchez Astudillo, R. E. (2024). Entrenamiento de la marcha con la cinta rodante antigravitatoria en pacientes con Parkinson. *Revista Vive*, 7(19). <https://doi.org/10.33996/revistavive.v7i19.286>

Pallares, C., Vélez Cuartas, G., Uribe-Tirado, A., Restrepo, D., Ochoa, J., & Suárez, M. (2022). Situación del acceso abierto y los pagos por APC en Colombia. Un modelo de análisis aplicable a Latinoamérica. *Revista Española de Documentación Científica*, 45(4), e342. <https://doi.org/10.3989/redc.2022.4.1931>

Pérez Astonitas, R. (2022). Análisis de datos para la gestión del conocimiento en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. *Revista de la Universidad del Zulia*, 13(37), 76-84. <https://doi.org/10.46925//rdluz.37.06>

Perspectivas demográficas del envejecimiento poblacional en la Región de las Américas. (2023). OPS y CEPAL. <https://doi.org/10.37774/9789275326794>

Perucci, F., & Swanson, E. (2024). Building trust and facilitating use of data. *Statistical Journal of the IAOS: Journal of the International Association for Official Statistics*, 40(1), 71-79. <https://doi.org/10.3233/SJI-240006>

Pilotto, A., Custodero, C., Maggi, S., Polidori, M. C., Veronese, N., & Ferrucci, L. (2020). A multidimensional approach to frailty in older people. *Ageing Research Reviews*, 60,

101047. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101047>
- Prasanth, H., Caban, M., Keller, U., Courtine, G., Ijspeert, A., Vallery, H., & Von Zitzewitz, J. (2021). Wearable Sensor-Based Real-Time Gait Detection: A Systematic Review. *Sensors*, 21(8), 2727. <https://doi.org/10.3390/s21082727>
- Qin, N., Li, Z., Song, N., Wilson, C. L., Easton, J., Mulder, H., Plyler, E., Neale, G., Walker, E., Zhou, X., Pan, H., Hudson, M. M., Yasui, Y., Robison, L. L., Zhang, J., Ness, K. K., & Wang, Z. (2021). Epigenetic Age Acceleration and Chronic Health Conditions Among Adult Survivors of Childhood Cancer. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 113(5), 597-605. <https://doi.org/10.1093/jnci/djaa147>
- Quispe Montalvo, I. M., Córdor Gómez, C. A., & Hinostrroza Robles, N. M. (2024). Efectividad del programa de musicoterapia, en el envejecimiento activo y saludable en la tercera edad— Anexo de Cochayoc, Tarma – 2022. *Revista Enfermería la Vanguardia*, 12(1), 21-32. <https://doi.org/10.35563/revan.v12i1.584>
- Ramírez Arellano, O. A., & Mendoza-Núñez, V. M. (2022). Generatividad relativa a la salud. Una estrategia para el envejecimiento saludable desarrollada en México. *Revista Pensamiento y Acción Interdisciplinaria*, 8(2), 56-72. <https://doi.org/10.29035/pai.8.2.56>
- Ramirez Vilchez, E. A., Salazar Zavaleta, J. R., Gomez Palomino, S. M., Martínez Díaz, N. E., & Chiri Saravia, P. C. (2022). Plataforma Canvas y el aprendizaje de matemáticas en estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 5428-5441. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3024
- Research Data Alliance FAIR Data Maturity Model Working Group. (2020). FAIR Data Maturity Model: Specification and guidelines. <https://doi.org/10.15497/RDA00050>
- Ribera Casado, J. M. (2021). A decade for healthy ageing. 2020-2030. *ANALES RANM*, 138(138(03)), 214-220. <https://doi.org/10.32440/ar.2021.138.03.rev02>
- Rocca-Serra, P., Gu, W., Ioannidis, V., Abbassi-Dalioi, T., Capella-Gutierrez, S., Chandramouliswaran, I., Splendiani, A., Burdett, T., Giessmann, R. T., Henderson, D., Batista, D., Emam, I., Gadiya, Y., Giovanni, L., Willighagen, E., Evelo, C., Gray, A. J. G., Gribbon, P., Juty, N., ... Sansone, S.-A. (2023). The FAIR Cookbook—The essential resource for and by FAIR doers. *Scientific Data*, 10(1), 292. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02166-3>

- Rodríguez Mañas, L., García-Sánchez, I., Hendry, A., Bernabei, R., Roller-Wirnsberger, R., Gabrovec, B., Liew, A., Carriazo, A. M., Redon, J., Galluzzo, L., Viña, J., Antoniadou, E., Targowski, T., Di Furia, L., Lattanzio, F., Bozdog, E., & Telo, M. (2018). Key Messages for a Frailty Prevention and Management Policy in Europe from the ADVANTAGE JOINT ACTION Consortium. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 22(8), 892-897. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1064-y>
- Rojas Valiente, M. J., Castillo Sarmiento, J. M. H., & Mendoza De Los Santos, A. C. (2023). Seguridad de la información en la prevención de pérdida de datos: Una revisión sistemática. *Innovación y Software*, 4(2), 182-200. <https://doi.org/10.48168/innosoft.s12.a92>
- Rovelli, L. (2023). Evaluación responsable y ciencia abierta: Agenda de reformas. *Integración y Conocimiento*, 12(2), 11-27. <https://doi.org/10.61203/2347-0658.v12.n2.42029>
- Rudnicka, E., Napierała, P., Podfigurna, A., Męczekalski, B., Smolarczyk, R., & Grymowicz, M. (2020). The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, 139, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>
- Ruiz Ledesma, E. F., Moreno Galván, E., Chavarría Báez, L., & Acosta Gonzaga, E. (2022). Estrategia didáctica para la construcción de un modelo de datos. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(25). <https://doi.org/10.23913/ride.v13i25.1354>
- Ruiz-Ruiz, L., Jimenez, A. R., Garcia-Villamil, G., & Seco, F. (2021). Detecting Fall Risk and Frailty in Elders with Inertial Motion Sensors: A Survey of Significant Gait Parameters. *Sensors*, 21(20), 6918. <https://doi.org/10.3390/s21206918>
- Sales, L., Henning, P., Veiga, V., Costa, M. M., Sayão, L. F., Da Silva Santos, L. O. B., & Pires, L. F. (2020). GO FAIR Brazil: A Challenge for Brazilian Data Science. *Data Intelligence*, 2(1-2), 238-245. https://doi.org/10.1162/dint_a_00046
- Santamaría Peláez, M., González Bernal, J., González Santos, J., & Soto Cámara, R. (2021). La calidad de vida de las personas mayores frágiles institucionalizadas. *Revista INFAD de Psicología. International Journal of Developmental and Educational Psychology.*, 1(2), 89-100. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2020.n2.v1.1958>
- Sayão, L. F. (2021). Princípios FAIR aplicados à gestão de dados de pesquisa (L. Farias Sales, V.

- Santos De Oliveira Veiga, & P. Henning, Eds.). Ibiect.
<https://doi.org/10.22477/9786589167242>
- Silva, N., Rajado, A. T., Esteves, F., Brito, D., Apolónio, J., Roberto, V. P., Binnie, A., Araújo, I., Nóbrega, C., Bragança, J., Castelo-Branco, P., ALFAScore Consortium, Andrade, R. P., Calado, S., Faleiro, M. L., Matos, C., Marques, N., Marreiros, A., Nzwalo, H., ... Sardo, A. (2023). Measuring healthy ageing: Current and future tools. *Biogerontology*, 24(6), 845-866. <https://doi.org/10.1007/s10522-023-10041-2>
- Sinaci, A. A., Gencturk, M., Teoman, H. A., Laleci Erturkmen, G. B., Alvarez-Romero, C., Martinez-Garcia, A., Poblador-Plou, B., Carmona-Pírez, J., Löbe, M., & Parra-Calderon, C. L. (2023). A Data Transformation Methodology to Create Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable Health Data: Software Design, Development, and Evaluation Study. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e42822. <https://doi.org/10.2196/42822>
- Sinaci, A. A., Núñez-Benjumea, F. J., Gencturk, M., Jauer, M.-L., Deserno, T., Chronaki, C., Cangioli, G., Cavero-Barca, C., Rodríguez-Pérez, J. M., Pérez-Pérez, M. M., Laleci Erturkmen, G. B., Hernández-Pérez, T., Méndez-Rodríguez, E., & Parra-Calderón, C. L. (2020). From Raw Data to FAIR Data: The FAIRification Workflow for Health Research. *Methods of Information in Medicine*, 59(S 01), e21-e32. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713684>
- Sirgo Álvarez, M. O. (2022). Envejecimiento activo desde una perspectiva de género. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 19, 1-13. <https://doi.org/10.14422/rib.i19.y2022.003>
- Soares, A. N., Alves, É. V. D. C., Vasconcelos, E. E. S., Ferreira, A. S. M., Lima Júnior, P. F. D., Silva, M. M. D. F. T. D., Monteiro, G. G. D. S., Soares, G. M. P., Costa, L. F. M., Bernardino, K. V. B., & Pedrosa, M. A. C. (2024). A IMPORTÂNCIA DA MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE FUNCIONAL E DESEMPENHO FÍSICO DOS IDOSOS DO PROJETO DE EXTENSÃO BOA IDADE A PARTIR DA SHORT PHYSICAL PERFORMANCE BATTERY-SPPB: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA. *International Journal of Health Sciences*, 3(2), 113-114. <https://doi.org/10.31692/2764-3433.v3i2.193>
- Song, N., Li, Z., Qin, N., Howell, C. R., Wilson, C. L., Easton, J., Mulder, H. L., Edmonson, M. N., Rusch, M. C., Zhang, J., Hudson, M. M., Yasui, Y., Robison, L. L., Ness, K. K., & Wang, Z. (2020). Shortened Leukocyte Telomere Length Associates with an Increased Prevalence of Chronic

- Health Conditions among Survivors of Childhood Cancer: A Report from the St. Jude Lifetime Cohort. *Clinical Cancer Research*, 26(10), 2362-2371. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-19-2503>
- Spaaks, J. H., Verhoeven, S., Tjong Kim Sang, E., Diblen, F., Martinez-Ortiz, C., Etuk, E., Kuzak, M., Werkhoven, B., Soares Siqueira, A., Saladi, S., & Holding, A. (2022). Howfairis (Versión 0.14.2) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4017908>
- Tarbert, R. J., & Singhatat, W. (2023). Real World Evidence of Wearable Smartbelt for Mitigation of Fall Impact in Older Adult Care. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 11, 247-251. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2023.3256893>
- Tipán Espinoza, J. M. (2022). Implementación de un algoritmo para detección del movimiento en una aplicación de realidad virtual. *REVISTA ODIGOS*, 3(3), 57-73. <https://doi.org/10.35290/ro.v3n3.2022.673>
- Ugochukwu, A. I., & Phillips, P. W. B. (2024). Open data ownership and sharing: Challenges and opportunities for application of FAIR principles and a checklist for data managers. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101157. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101157>
- UNESCO. (2021). Recomendación de la UNESCO sobre la Ciencia Abierta. UNESCO. <https://doi.org/10.54677/YDOG4702>
- UNESCO. (2024). Ciencia abierta: De la recomendación a la acción. <https://openlearning.unesco.org/courses/course-v1:UNESCO+SHS+2024/about>
- ÚRSULA SEGOVIANO. (2024, octubre 2). Cambios en el protocolo de prevención de fragilidad en mayores: Sanidad trabaja en su actualización. 65 y más - El diario de las personas mayores. https://www.65ymas.com/salud/cambios-en-protocolo-prevencion-fragilidad-en-mayores-sanidad_63677_102.html
- Vargas-Del-Valle, M. C., Sánchez-Brenes, O., Sánchez-Brenes, M., Huete-Calderón, A., & Arias-Mora, R. A. (2021). Identificación de factores que afectan la aplicación de la prueba Short Physical Performance Battery en centros de atención para el adulto mayor. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i4.5204>
- Villegas, D. A., Arana, M. V., Villar, P. S., Vizarrata, L. M. F., Chaparro, N. E. B., Soriano, A. O., Fajardo, M. R. V., Ancco, V. N. V., Orihuela, M. P., & Faneite, S. F. A. (2023). Calidad de la educación

- superior: Gestión estratégica, formación integral y soporte institucional. En IDICAP PACÍFICO. IDICAP PACÍFICO. <https://doi.org/10.53595/eip.007.2023>
- Vivas Albán, O. A., Valencia Chacón, D. C., Quijano Guzmán, K. J., & Bonett, V. D. (2020). Estimación de la cinemática de las articulaciones de miembro inferior por medio del filtro de Kalman extendido. *Inge CuC*, 16(1), 252-266. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.16.1.2020.19>
- Wahl, H.-W. (2020). Aging Successfully: Possible in Principle? Possible for all? Desirable for all? *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 54(2), 251-268. <https://doi.org/10.1007/s12124-020-09513-8>
- Wang, H., Chen, X., Zheng, M., Wu, Y., & Liu, L. (2024). Research status and hotspots of social frailty in older adults: A bibliometric analysis from 2003 to 2022. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 16, 1409155. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2024.1409155>
- Ward, M., Clarke, N., McLoughlin, S., Golden, D., & Kenny, R. A. (2024). Data Management Plan for a rapid response sub-study of an existing cohort. The Irish Longitudinal Study on Ageing (TILDA) COVID-19 sub-study. *HRB Open Research*, 7, 38. <https://doi.org/10.12688/hrbopenres.13901.1>
- Werner, C., Awai Easthope, C., Curt, A., & Demkó, L. (2021). Towards a Mobile Gait Analysis for Patients with a Spinal Cord Injury: A Robust Algorithm Validated for Slow Walking Speeds. *Sensors*, 21(21), 7381. <https://doi.org/10.3390/s21217381>
- Wijnbergen, D., Kaliyaperumal, R., Burger, K., Bonino Da Silva Santos, L. O., Mons, B., Roos, M., & Mina, E. (2024). The FAIR Data Point Populator: Collaborative FAIRification and population of FAIR Data Points. <https://doi.org/10.1101/2024.09.06.611505>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, Ij. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.-W., Da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., ... Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Sansone, S.-A., Bonino Da Silva Santos, L. O., Prieto, M., Batista, D., McQuilton, P., Kuhn, T., Rocca-Serra, P., Crosas, M., & Schultes, E. (2019). Evaluating FAIR maturity through a scalable, automated, community-governed framework. *Scientific*

- Data, 6(1), 174. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0184-5>
- Wilkinson, M., Schultes, E., Luiz Olavo Bonino, Susanna-Assunta Sansone, Doorn, P., & Dumontier, M. (2018). FAIRMetrics/Metrics: FAIR Metrics, Evaluation results, and initial release of automated evaluator code (Versión v1.0.3) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1065973>
- Williams, S. (2020). Open Data and Open Access Articles: Exploring Connections in the Life Sciences. *Journal of eScience Librarianship*, 9(1), 1184. <https://doi.org/10.7191/jeslib.2020.1184>
- Wouters, P., Zahedi, Z., & Costas, R. (2019). Social Media Metrics for New Research Evaluation. En W. Glänzel, H. F. Moed, U. Schmoch, & M. Thelwall (Eds.), *Springer Handbook of Science and Technology Indicators* (pp. 687-713). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02511-3_26
- Wu, G., & Cavanagh, P. R. (1995). ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics*, 28(10), 1257-1261. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00017-C](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00017-C)
- Yan, F. (2023). Study on the Status Quo, Trend, Causes and Countermeasures of Population Aging in China. *Communications in Humanities Research*, 18(1), 151-157. <https://doi.org/10.54254/2753-7064/18/20231146>
- Yete, R., Purawat, S., Perez, I., Crawl, D. L., & Altintas, I. (2023). Automating the Evaluation of Datasets for FAIR and CARE Principles. 2023 IEEE 19th International Conference on e-Science (e-Science), 1-2. <https://doi.org/10.1109/e-Science58273.2023.10254897>
- Zahn, A., Koch, V., Schreff, L., Oschmann, P., Winkler, J., Gaßner, H., & Müller, R. (2023). Validity of an inertial sensor-based system for the assessment of spatio-temporal parameters in people with multiple sclerosis. *Frontiers in Neurology*, 14, 1164001. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1164001>
- Zarzoso Gaya, D. (2024). Diseño de un método general para la evaluación de los principios FAIR (Findable, Accessible, Interoperable y Reusable) [Universitat Politècnica de València. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación - Departament de Sistemes Informàtics i Computació Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de

Ingenieros Industriales - Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials].
<http://hdl.handle.net/10251/209212>

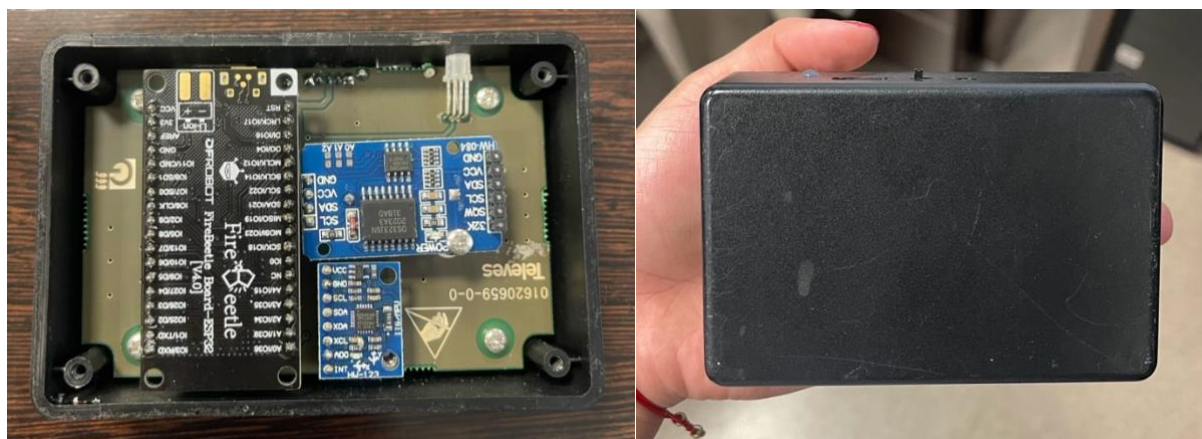
Zhang, K., Liu, W., Zhang, J., Li, Z., & Liu, J. (2023). A Fall Risk Assessment Model for Community-Dwelling Elderly Individuals Based on Gait Parameters. *IEEE Access*, 11, 120857-120867.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3327091>

Zhang, P., Abudukelimu, N., Sali, A., Chen, J.-X., Li, M., Mao, Y.-Y., Zhu, Y., & Zhu, Q.-X. (2023). Sociodemographic features associated with the MoCA, SPPB, and GDS scores in a community-dwelling elderly population. *BMC Geriatrics*, 23(1), 557.
<https://doi.org/10.1186/s12877-023-04162-z>

Zhou, Z., Huang, Y., Wang, J., Su, H., Tang, H., & Wang, Y. (2023). A novel digital biomarker of sarcopenia in frail elderly: New combination of gait parameters under dual-task walking. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15, 1087318. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1087318>

X. ANEXOS

Anexo 1 Dispositivo Final MOTIVA.



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4 Rueda B VIVIFRAIL (Frágiles).



RUEDA DE EJERCICIOS

CAMINAR
2 MINUTOS 5 SERIES.
CAMINA A UN RITMO QUE PUEDAS MANTENER UNA CONVERSACIÓN DE MANERA CONTÍNUA PERO QUE TE CUESTE UN POCO DE ESFUERZO.
A PARTIR DE LA SEMANA 7 CAMINA 3 SERIES DE 8 MINUTOS.

DESCANSAR
RECUERDE DESCANSAR ENTRE SERIES

RESPIRAR CORRECTAMENTE
RESPIRE NORMALMENTE, NO CONTenga LA RESPIRACIÓN DURANTE LOS EJERCICIOS.

EJERCICIO
EN CASO DE DUDA SOBRE COMO REALIZAR LOS EJERCICIOS CONSULTE EN LAS PAGINAS INTERIORES DEL PASAPORTE.

El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2014-2020). El objetivo del POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra. Su ayuda se concentra en el desarrollo de actividades económicas, sociales y medioambientales transfronterizas a través de estrategias conjuntas a favor del desarrollo territorial sostenible.



Programa multicomponente de ejercicio físico para la promoción de la fragilidad y el riesgo de caídas en el adulto mayor.

Fuente: Pagina Web VIVIFRAIL.

Anexo 7 Rueda C VIVIFRAIL (Pre-Frágiles)



RUEDA DE EJERCICIOS

CAMINAR
10 MINUTOS 3 SERIES.

CAMINA A UN RITMO QUE PUEDAS MANTENER UNA CONVERSACIÓN DE MANERA CONTINUA PERO QUE TE CUESTE UN POCO DE ESFUERZO.

A PARTIR DE LA SEMANA 7 CAMINA 3 SERIES DE 15 MINUTOS.

DESCANSAR
RECUERDE DESCANSAR 2 MINUTOS ENTRE SERIES

RESPIRAR CORRECTAMENTE
RESPIRE NORMALMENTE, NO CONTENGAS LA RESPIRACIÓN DURANTE LOS EJERCICIOS.

EJERCICIOS
EN CASO DE DUDA SOBRE COMO REALIZAR LOS EJERCICIOS CONSULTE EN LAS PAGINAS INTERIORES DEL PASAPORTE.

El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2014-2020). El objetivo del POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra. Su ayuda se concentra en el desarrollo de actividades económicas, sociales y medioambientales transfronterizas a través de estrategias conjuntas a favor del desarrollo territorial sostenible.



ESTIRAMIENTO DE BRAZOS
Repeticiones 3
Series 3
Mantener 10 s

CAMINAR
Ver leyenda

ESTRUJAR UNA TOALLA
Repeticiones 12
Series 3

LEVANTAR UNA BOTELLA
Repeticiones 12
Series 3

LEVANTARSE DE LA SILLA
Repeticiones 12
Series 3

OBSTÁCULOS
5 obstáculos
Series 8

CAMINAR HACIENDO OCHOS
2 vueltas
Series 3

ESTIRAMIENTO DE PIERNAS
Repeticiones 6
Series 3
Mantener 10 s

Fuente: Pagina Web VIVIFRAIL.