



## **PROYECTO:**

**Pre-Fall – Sistema inteligente para la  
prevención y predicción de caídas  
(Evaluación Técnica Hito 1)**

**Depto. Ingeniería: Iván Jiménez**



## **INDICE:**

1. Paquete de Trabajo 1: E1.1, E1.2, E1.3
2. Paquete de Trabajo 2: E2.1, E2.2, E2.3
3. Problemas y Soluciones
4. Prueba de validación



# Cronograma del Proyecto

		2021										2022										2023										
		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT
Tareas	Part.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
PT1 Análisis y diseño																																
T1.1 Estado del arte	IBC, CTIC																															
T1.2 Definición de los requisitos	IBC, CTIC																															
T1.3 Diseño conceptual	IBC, CTIC																															
PT2 Wearable de medición de la marcha humana																																
T2.1 Definición de un banco de pruebas para dispositivos inerciales de medición de la marcha	IBC																															
T2.2 Implementación de un proceso de benchmarking para la evaluación de dispositivos inerciales de medición de la marcha	IBC, CTIC																															
T2.3 Captura de datos de pacientes	IBC																															
PT3 Sistema experto de prevención de caídas																																
T3.1 Depuración y preprocesado de los datos	CTIC, IBC																															
T3.2 Modelos de aprendizaje automático para el modelado de la marcha humana	CTIC																															
T3.3 Validación de los modelos	CTIC, IBC																															
T3.4 Diseño e implementación de un sistema experto de prevención de caídas y evaluación de la eficacia de la rehabilitación	CTIC, IBC																															
T3.5 Sistema de visualización de resultados	CTIC, IBC																															
PT4 Pruebas y validación de la solución																																
T4.1 Plan de pruebas	IBC																															
T4.2 Validación de la solución	IBC, CTIC																															
T4.3 Corrección y adecuación de los modelos	CTIC																															



# 1. Paquete de Trabajo 1

- Entregable 1.1: Informe de estado de la técnica
- Entregable 1.2: Catálogo de requisitos
- Entregable 1.3: Diseño conceptual del sistema



# 1. Entregable 1.1

- Revisión bibliográfica
- Tipos de dispositivos:
  - Vestibles: plantillas, calzado, etc.
    - Inerciales: diferentes tipos de sensores en un dispositivo para registro de datos cinemáticos.
  - No vestibles: captura de movimientos, plataformas de fuerza, etc.

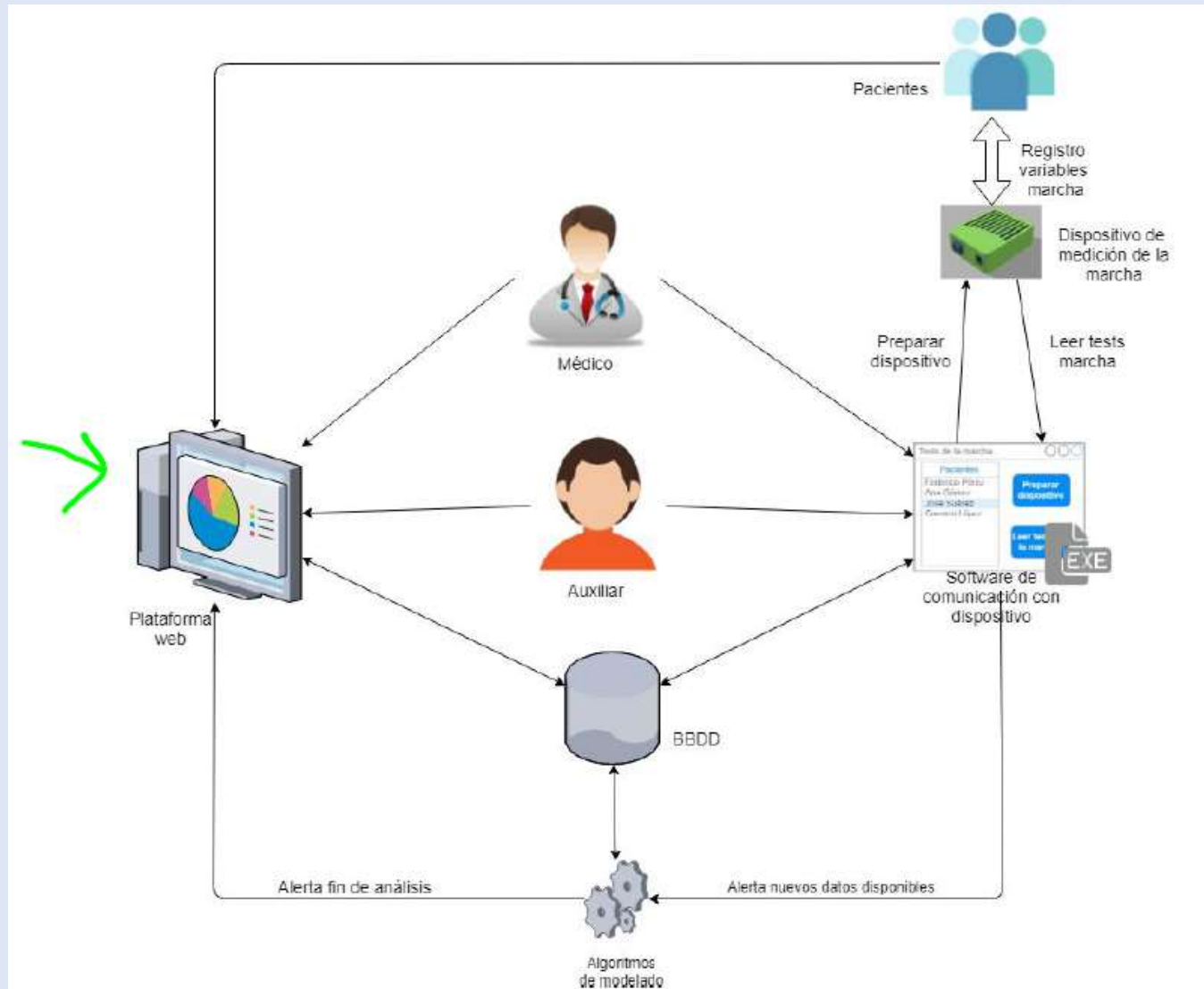


# 1. Entregable 1.2

- Requisitos para el dispositivo de medición de la marcha humana: IMU (Inertial Measurement Unit) -> software de registro de dispositivos IoT para biomecánica.
- Requisitos para los algoritmos de modelado: aprendizaje supervisado (algoritmos Machine Learning).
- Requisitos de la interfaz de usuario: arquitectura de microservicios (Docker, Celery, API para modelo)



# 1. Entregable 1.3. Arquitectura y Casos de Uso



## 2. Paquete de Trabajo 2

- Entregable 2.1: Banco de pruebas
- Entregable 2.2: Protocolo de benchmarking para la evaluación de dispositivos inerciales de medición de la marcha
- Entregable 2.3: Plan de captura de datos





## 2. Entregable 2.1

Autor, Año	Sujetos (con riesgo de caída)	Media edad	Tipo de Sensor	Número de sensores	Ubicación	Test
Kokima, 2008 [3]	153 (22)	71	ACC	1	Espalda baja	Walking
O'Sullivan, 2009 [4]	17 (12)	77	ACC	1	Espalda baja	Stand up
Green, 2010 [5]	349 (207)	72.4	GYR	2	Espinillas	TUG
Itoh, 2012 [6]	30 (7)	75	ACC+ GYR	1	Espalda baja	Stand up
Senden, 2012 [7]	100 (50)	76.5	ACC	1	Espalda baja	Walking
Doheny, 2013 [8]	39 (19)	71.5	ACC	2	Muslo, Esternón	5 times sit to stand test
Doi, 2013 [9]	73 (16)	80.7	ACC	2	Espalda baja, espalda alta	10m walk test
Weiss, 2013 [10]	71 (32)	78.4	ACC	1	Espalda baja	Walking
Cui, 2014 [11]	81 (39)	78.4	ACC	1	Espalda baja	Walking



# 2. Entregable 2.1

Feature (units)	Author, Year	Task	Sensor location	Trend	Weight (%)	Non-Fallers			Fallers		
						N	Mean	SD	N	Mean	SD
Linear acceleration features											
ML RMS acceleration (g)	Doheny, 2012	Quiet standing (EO)	Lower back	-	50.7	21	0.03	0.01	19	0.03	0.01
	Greene, 2012	Quiet standing (EO)	Lower back	↑↑	49.3	55	0.04	0.01	65	0.06	0.03
	Doheny, 2012	Quiet standing (EC)	Lower back	↑↑	44.3	21	0.03	0.01	19	0.04	0.01
	Greene, 2012	Quiet standing (EC)	Lower back	↑	55.7	55	0.04	0.01	65	0.05	0.02
Spatial features											
Number of steps (steps)	Weiss, 2011	TUG (Walking)	Lower back	↑	43.6	18	10.61	1.80	23	11.52	1.82
	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↑↑	56.4	142	10.60	2.40	207	12.80	3.80
Step length (m)	Weiss, 2011	TUG (Walking)	Lower back	↓	49.8	18	0.56	0.08	23	0.53	0.08
	Senden, 2012	Walking	Lower back	↑↑	50.2	50	0.51	0.13	50	0.66	0.09
Temporal features											
Cadence (steps/min)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↓↓	50.2	142	108.00	19.30	207	99.20	19.30
	Senden, 2012	Walking	Lower back	↑↑	49.8	50	101.40	13.80	50	111.60	10.20
Gait speed (m/s)	Doi, 2013	10MWT	Lower back	↓↓	32.3	57	0.98	0.34	16	0.63	0.27
	Weiss, 2011	TUG (Walking)	Lower back	↓↓	34.1	18	0.68	0.10	23	0.60	0.09
	Senden, 2012	Walking	Lower back	↑↑	33.6	50	0.86	0.26	50	1.23	0.22
	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↑↑	26.5	142	0.60	0.10	207	0.70	0.10
Step time (s)	Weiss, 2011	TUG (Walking)	Lower back	↑↑	23.8	18	0.50	0.06	23	0.56	0.05
	Weiss, 2013	Walking	Lower back	↑↑	25	39	0.56	0.04	32	0.60	0.07
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	24.6	21	0.57	0.05	19	0.58	0.05
	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	-	71.1	142	0.80	0.20	207	0.80	0.10
Stance time (s)	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	28.9	21	0.68	0.10	19	0.70	0.08
	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	-	96.3	142	0.50	0.10	207	0.50	0.10
Swing time (s)	Doheny, 2012	Walking	Shins	↓	3.7	21	0.47	0.25	19	0.43	0.04
	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	-	51.6	142	1.20	0.20	207	1.20	0.20
Stride time (s)	Weiss, 2013	Walking	Lower back	↓↓	28.2	39	1.12	0.09	32	1.20	0.15
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	20.2	21	1.11	0.11	19	1.13	0.11
	Weiss, 2011	TUG	Lower back	↑↑	52	18	8.68	1.62	23	10.10	1.61
	Greene, 2010	TUG	Shins	↑↑	48	142	12.40	5.10	207	15.60	6.50
Single support time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	-	68.9	142	80.00	10.00	207	80.00	10.00
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↓↓	31.1	21	78.39	5.59	19	75.53	4.67
Double support time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↓↓	55.4	142	50.00	20.00	207	40.00	20.00
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↓	44.6	21	24.67	17.08	19	24.47	4.67
CV of step time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↑	43.3	142	40.30	22.90	207	42.00	21.00
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	56.7	21	4.92	4.39	19	6.20	8.18
CV of stance time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↓	65.6	142	45.00	20.40	207	43.30	19.30
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	34.4	21	6.03	8.67	19	7.40	10.16
CV of swing time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↓	43	142	31.00	22.00	207	28.10	19.90
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑↑	57	21	5.06	2.97	19	7.26	4.94
CV of stride time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↑	58.8	142	23.40	14.70	207	24.00	13.20
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	41.2	21	4.19	5.56	19	4.96	6.01
CV of single support time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↑	38.8	142	21.10	19.20	207	22.90	15.70
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	61.2	21	4.08	4.51	19	5.41	5.21
CV of double support time (%)	Greene, 2010	TUG (Walking)	Shins	↓	52.6	142	82.60	27.80	207	80.70	26.60
	Doheny, 2012	Walking	Shins	↑	47.4	21	10.02	9.61	19	16.54	12.39
Frequency features											
VT Harmonic ratio (n.u.)	Doi, 2013	10MWT	Lower back	↓↓	50.3	57	2.69	0.93	16	2.07	0.64
	Senden, 2012	Walking	Lower back	↑↑	49.7	50	2.18	1.09	50	3.09	1.25

EO: Eyes Open; EC: Eyes Closed; TUG: Timed Up and Go test; 10MWT: 10-Meters Walking Test

↓↓ (↑↑): significantly lower (higher) for subjects in the fallers (high-risk) subgroup

↓ (↑): lower (higher) for subjects in the fallers (high-risk) subgroup

-: No difference between subgroups



# Entregable 2.1:

## Ubicación de los inerciales y tipos de pruebas

Ubicación de IMU	Porcentaje más alto
Parte baja de la espalda: sacro, pelvis, vertebrae L3 a L5	65%

Prueba	Porcentaje
Caminar	45%
TUG	32.5%
FTSS	22.5%
StandUp	20%
Otros	17.5%



# Entregable 2.1:

## *Features para analizar*

Categoría de variable	Porcentaje de uso para evaluar riesgo de caída
Posición y Ángulo.	7.7%
Velocidad angular	11.5%
Aceleración lineal	20%
Espaciales	3.8%
Temporales	23.1%
Energía	3.8%
Frecuencia	15.4%
Otras	14.6%



# Entregable 2.1:

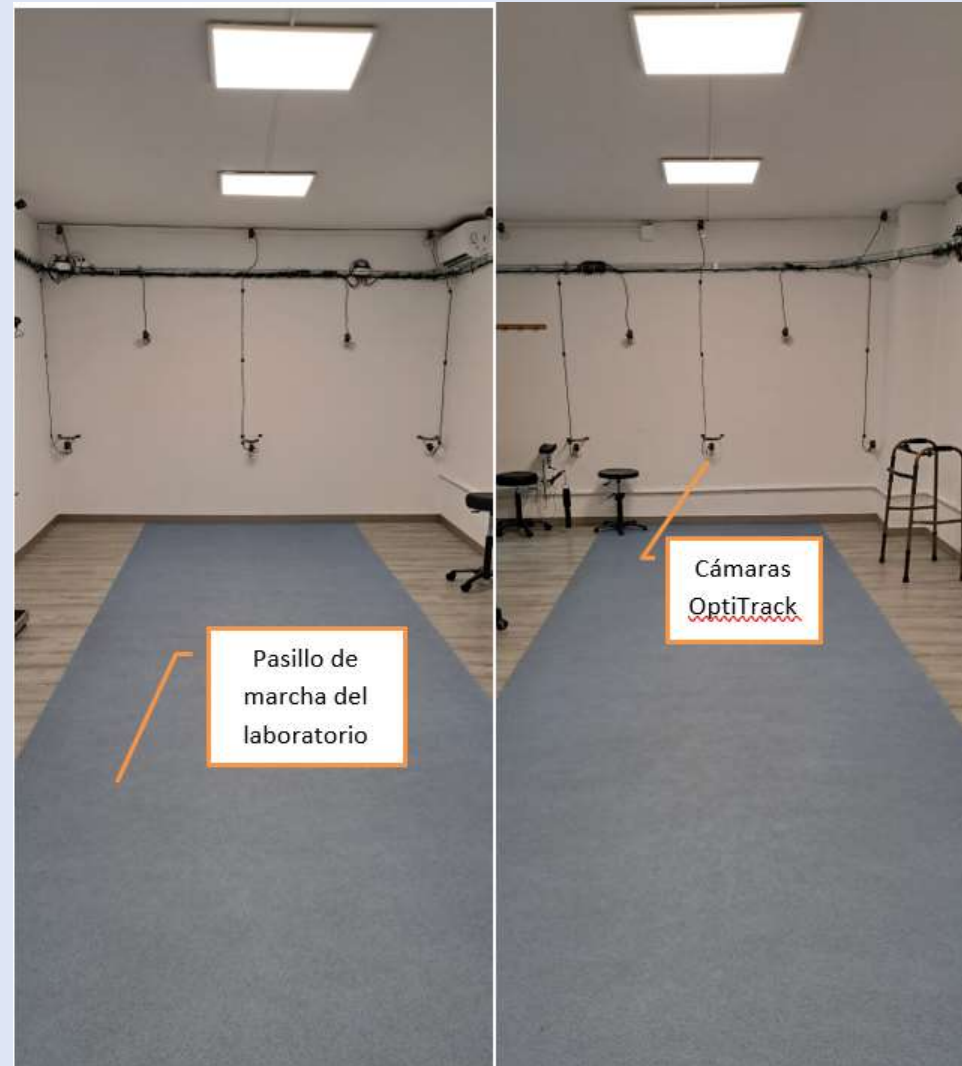
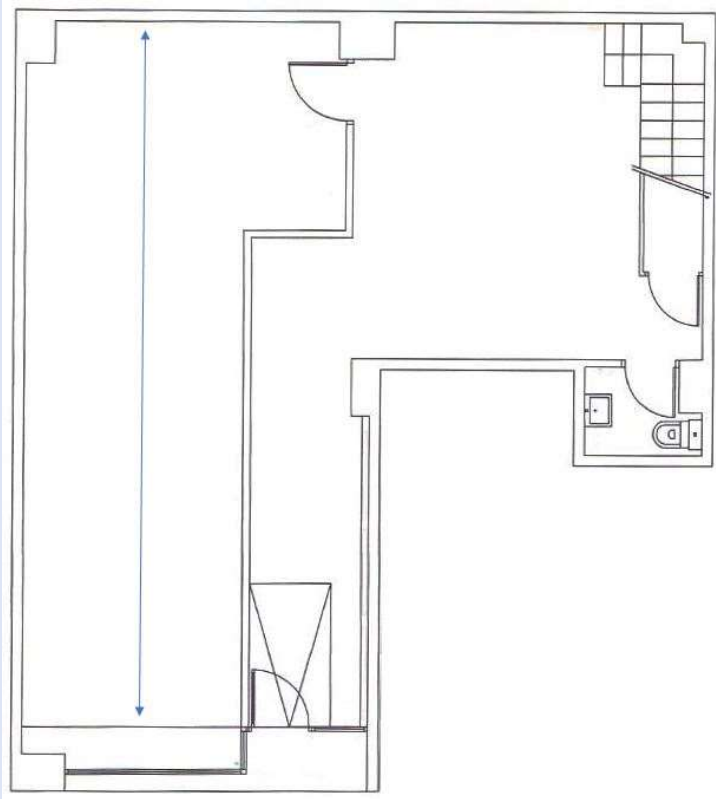
## Descripción de la prueba

Batería de Pruebas	Distancia/ubicación	Tiempo	Ubicación Inercial		Tipo de sujetos	Sensores del IMU	Variables
Caminar (segmento de 8 metros ida y vuelta)	8 metros ida y vuelta / laboratorio	90 s (aprox.)	Espalda Baja (sacro)		Riesgo de caída y no riesgo de caída	Acelerómetro triaxial, Giroscopio triaxial, Magnetómetro triaxial	Aceleración lineal.  Espacio  Tiempo  Frecuencia



# Entregable 2.1:

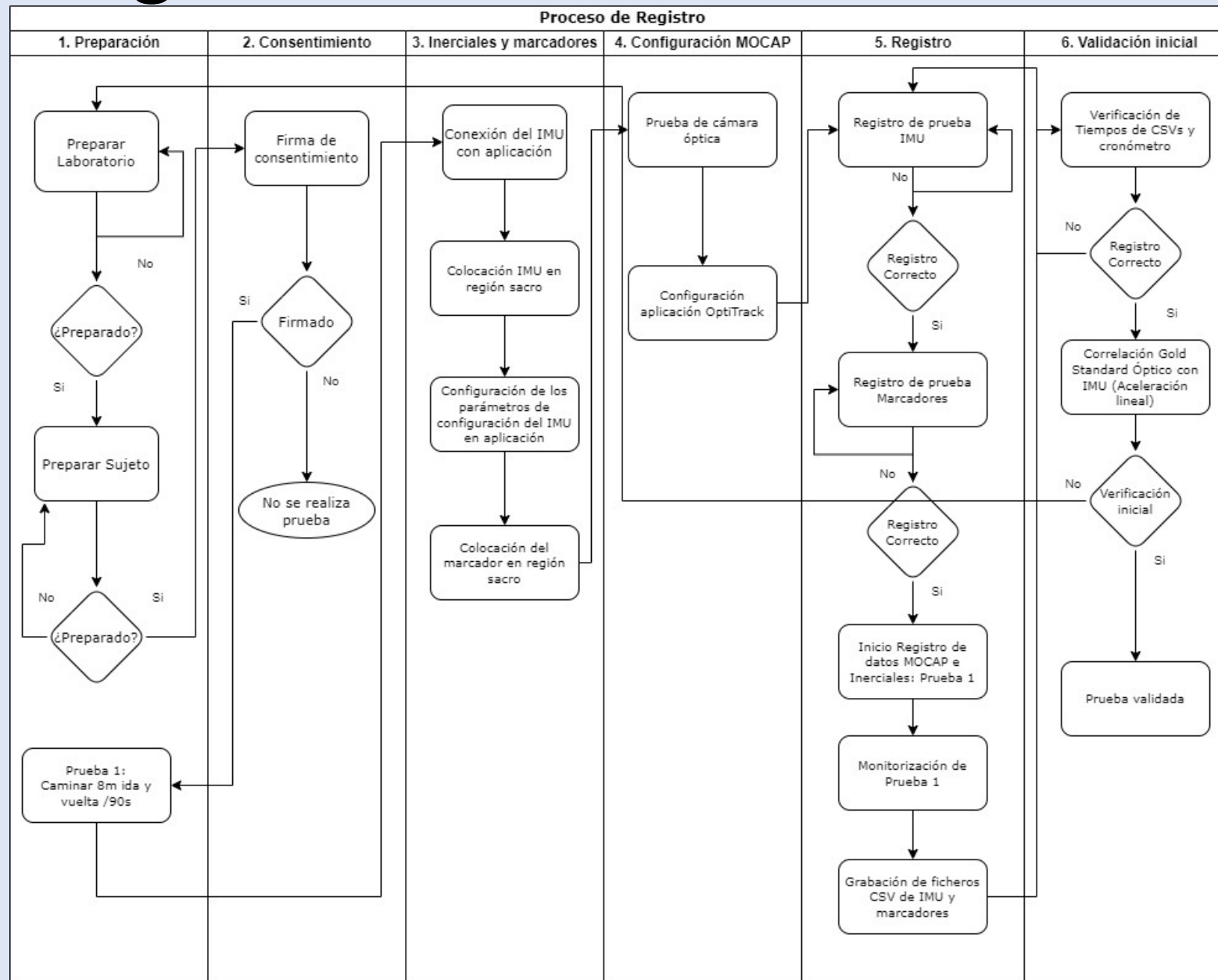
## Laboratorio





# Entregable 2.1:

# Proceso de Registro



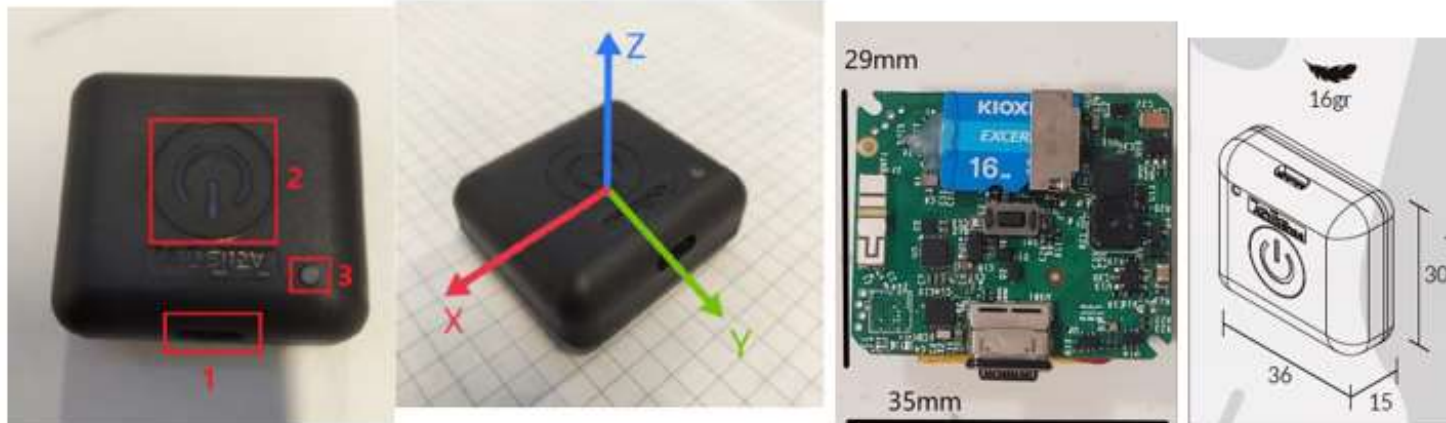
## 2. Entregable 2.2

Proveedor	Sensores inerciales	Precio	Accelerómetro x3	Giroscopio x3	Magnetómetro x3
Mbientlab Inc.	Metamotion RL+	90 USD	Sí	Sí	Sí
WiseWare Solutions	Actisense	300 €	Sí	Sí	Sí
LP-Research Inc.	LPMBS-2	290 USD	Sí	Sí	Sí





## 2. Entregable 2.2

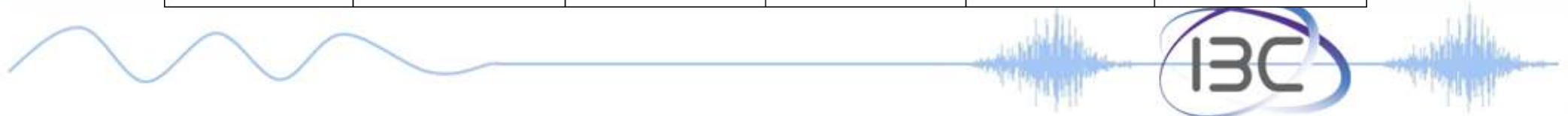
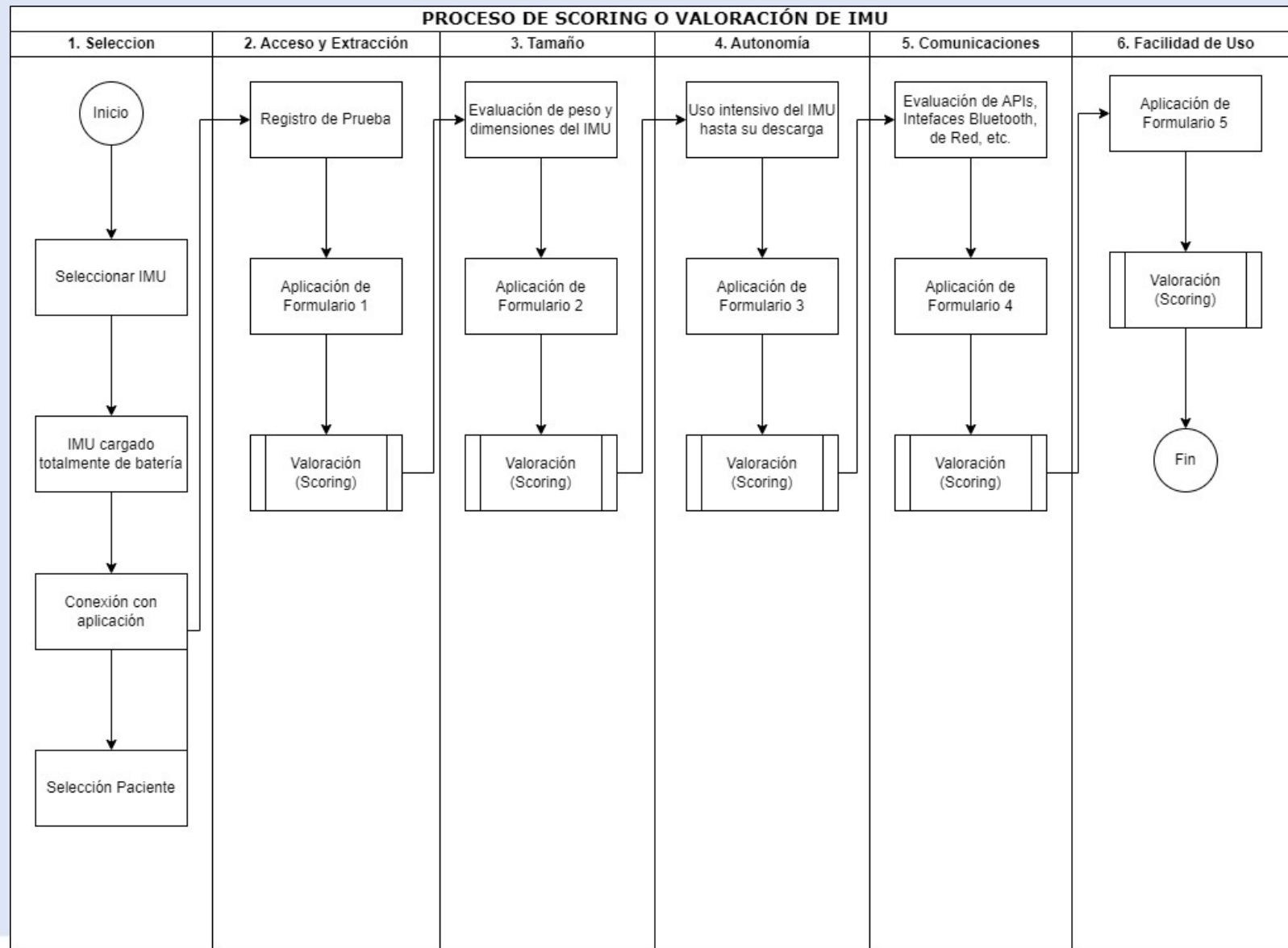


<b>Peso</b>	16 gr
<b>FormFactor minituarizado</b>	36mm × 15 mm x 30mm con carcasa
<b>Modo de uso</b>	50 horas de uso
<b>Tipo de Batería</b>	Litio
<b>Resistencia</b>	IP 20
<b>Cumplimiento normativo</b>	CE, FCC, IC
<b>API Programable</b>	C# y Python
<b>Transferencia de Datos</b>	Bluetooth Low Energy 4.0 Smart® / 5.0 / 5.1
<b>SD Card</b>	16 Gb
<b>Giroscopio</b>	Rango: $\pm 125, \pm 250, \pm 500, \pm 1000$ °/s Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Acelerómetro</b>	Rango: $\pm 2, \pm 4, \pm 8$ g Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Magnetómetro</b>	Rango: $\pm 4912$ $\mu$ T Precisión: 16b Tasa Muestreo: 25Hz, 100Hz, 200Hz
<b>Sensor Fusion</b>	Salidas: Quaternion, Euler Angles (Yaw, Pitch, Roll), Linear Acc. Precisión: $< 1^\circ$ RMS Tasa de muestreo: 25Hz, 100 Hz, 200 Hz



# 2. Entregable 2.2

## Proceso de *scoring*



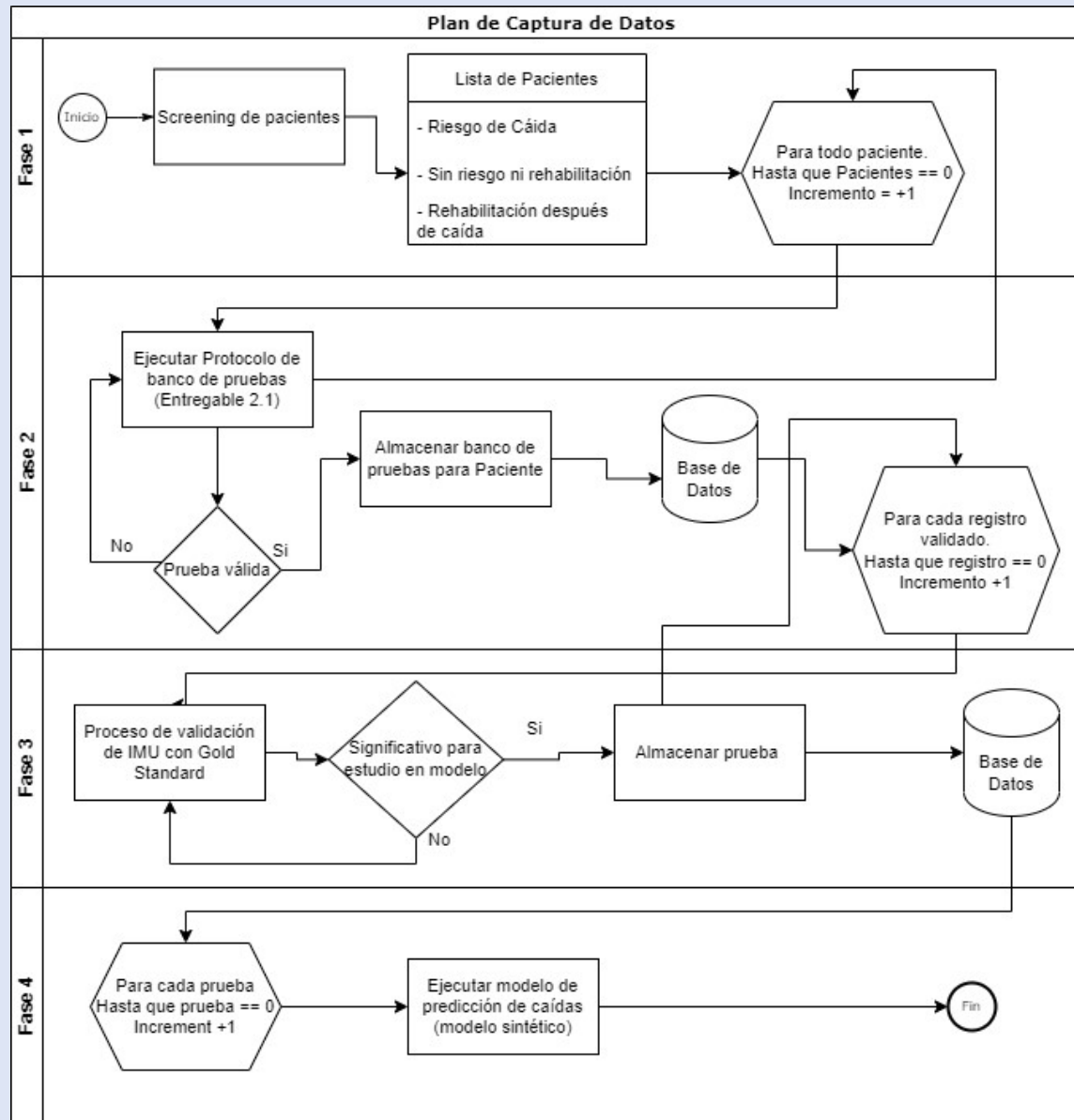
# 2. Entregable 2.2

## Resultados

Sensores Inerciales	Acceso y Extracción	Tamaño	Autonomía	Comunicaciones	Facilidad de Uso Cotidiano	Score
MetamotionRL2+® (Mbientlab Inc.™)	2	1	1	3	1	8
ActiSense® (WiseWare™ Technologies)	3	2	3	3	3	14
LPMBS-2® (LP-Research Inc.™)	3	3	1	2	3	12

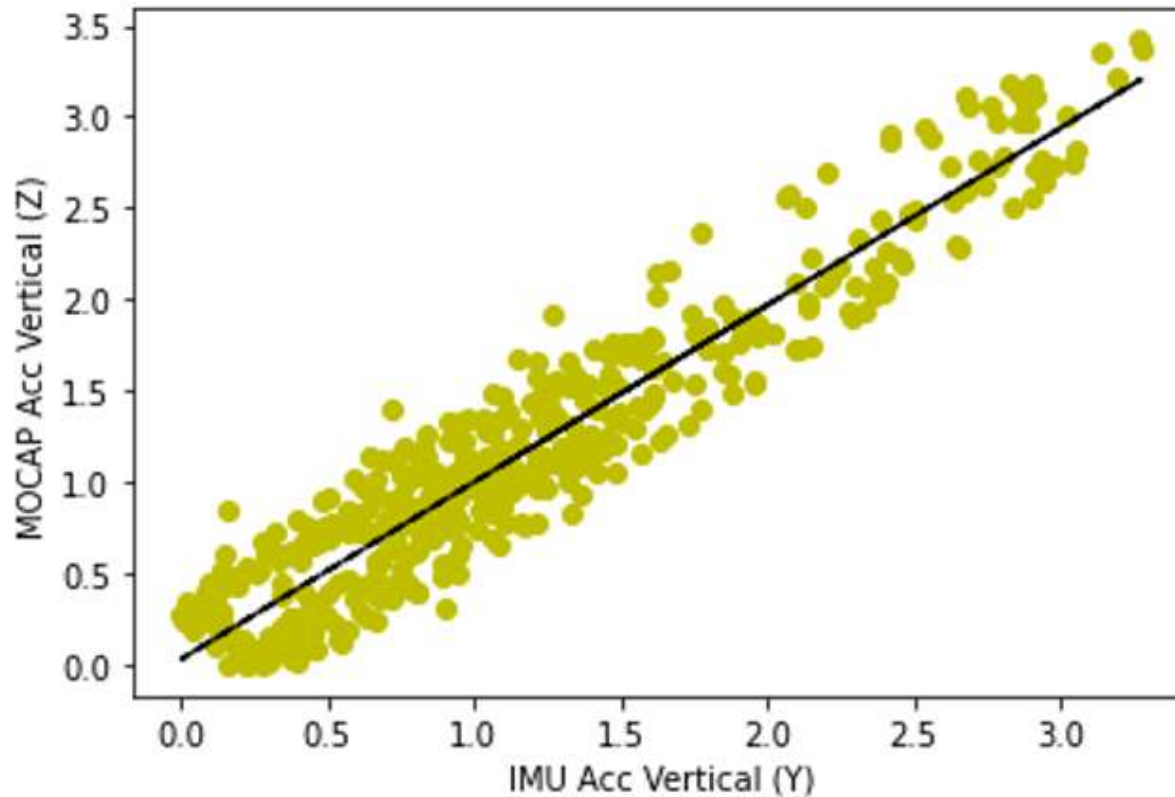


## 2. Entregable 2.3



## 2. Entregable 2.3

## Validación



IMU Media (m/s <sup>2</sup> )	IMU Desv. Est. (m/s <sup>2</sup> )	Mocap Media (m/s <sup>2</sup> )	Mocap Desv. Est. (m/s <sup>2</sup> )	Slope	Interce pt	R <sup>2</sup>	Valor p	Error Desv. Est.
1.159	0.746	1.153	0.764	0.968	0.303	0.893	1.134*10 <sup>-230</sup>	0.015

Tabla 3: Regresión lineal y datos estadísticos para Aceleración Vertical (A.V.)



# Hito 1

- **HITO 1: Dispositivo de captación de datos identificado, validado y probado (M16)**



### 3. Problemas y Soluciones

- Sujetos mayores de 60 años en el laboratorio
- Transportar el sistema de registros a centros hospitalarios, residencias, etc.

#### Soluciones

- Hemos ampliado la horquilla de edad para pacientes  $< 60$  años.
- Teniendo en cuenta que los sujetos de distinta edad pueden tener también riesgo de caída y también pueden tener procesos de rehabilitación  
-> no perjudica el experimento.



## 4. Prueba de validación

- Registro IMU por el software DAT de IBC para PreFall (se hará uno sin pacientes para ver cómo funciona la herramienta y el IMU)
- Muestra del proceso de validación mediante el MOCAP.

