



Detección precoz del deterioro cognitivo mediante técnicas de gamificación, aprendizaje máquina y herramientas TIC

Batería Panoramix

Autora: Sonia M^a Valladares Rodríguez

UniversidadeVigo

atlanTTic research center
for Telecommunication Technologies



Índice

PARTE I - INTRODUCCIÓN

1. ÁMBITO	3
2. MOTIVACIÓN	4
3. RETO DE INVESTIGACIÓN	9
4. OBJETIVOS	15
5. METODOLOGÍA	17

PARTE II - CONTRIBUCIONES

6. CONTRIBUCIONES ORIGINALES	21
6.1 Propiedades psicométricas	22
6.2 Batería <i>Panoramix</i>	24
6.3 Experimentos pilotos de validación	25
6.4 Principales contribuciones publicadas	29

PARTE III - CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES	60
-----------------	----



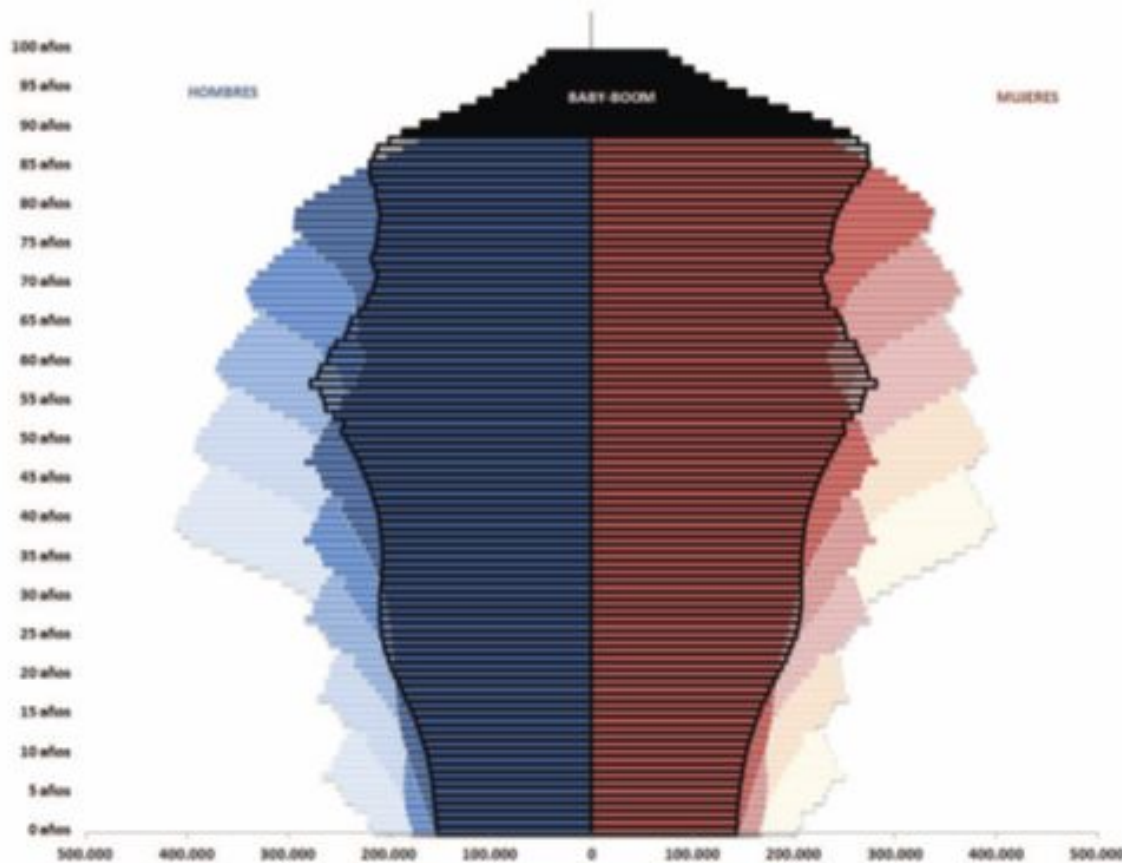
Parte I.

INTRODUCCIÓN

1. **Ámbito**

Envejecimiento de la población
Demencia de tipo Alzheimer

1. Ámbito



En 2066 se duplicará la población >65 años (34.6%)

- ⊙ Disminución de la natalidad
- ⊙ Incremento de la esperanza vida

1. Ámbito

40 millones

Personas que padecen demencia actualmente

131.5 millones

Estimación de personas que sufrirán demencia en 2050

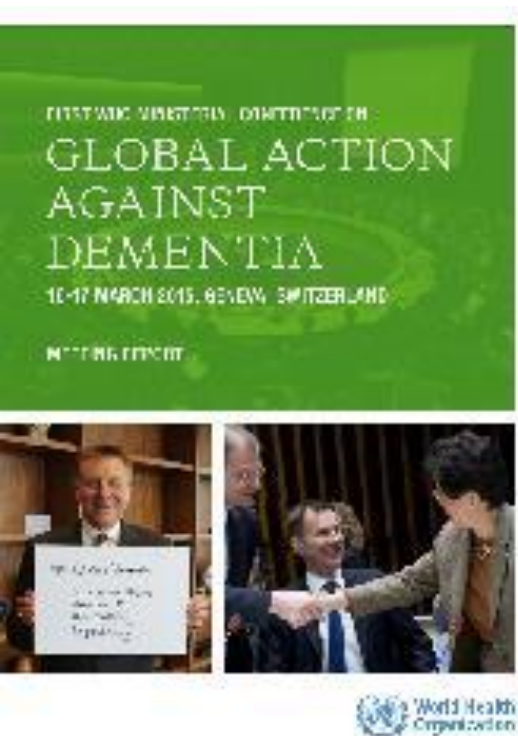
1% PIB mundial

Coste de la atención de las demencias en 2015

1. Ámbito

La **OMS** califica el problema de la demencia como una alerta sanitaria (Suiza, 2015).

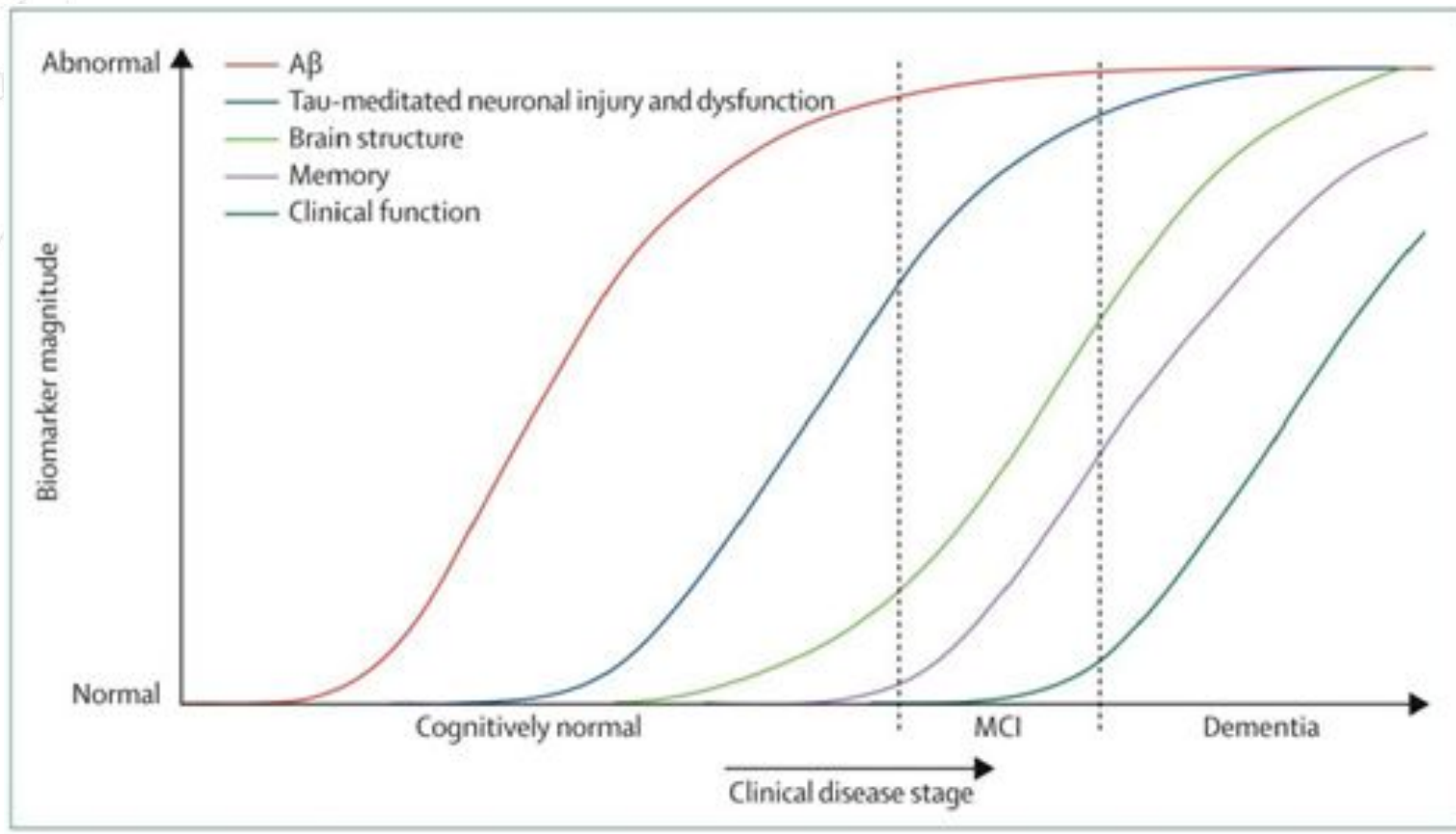
Acciones prioritarias:



1. Ámbito

Fases objetivo para un diagnóstico precoz:

- Fase pre-clínica
- Fase de MCI – Mild Cognitive Impairment



2. **Motivación**

Test clásicos
Limitaciones y alternativas

2. Motivación

- Alzheimer (AD) representa el 70%-80% de los casos de demencia
- Diagnóstico mediante una evaluación completa:
 - Estado mental
 - Estado funcional
- Test clásicos** o test neuropsicológicos



2. Motivación

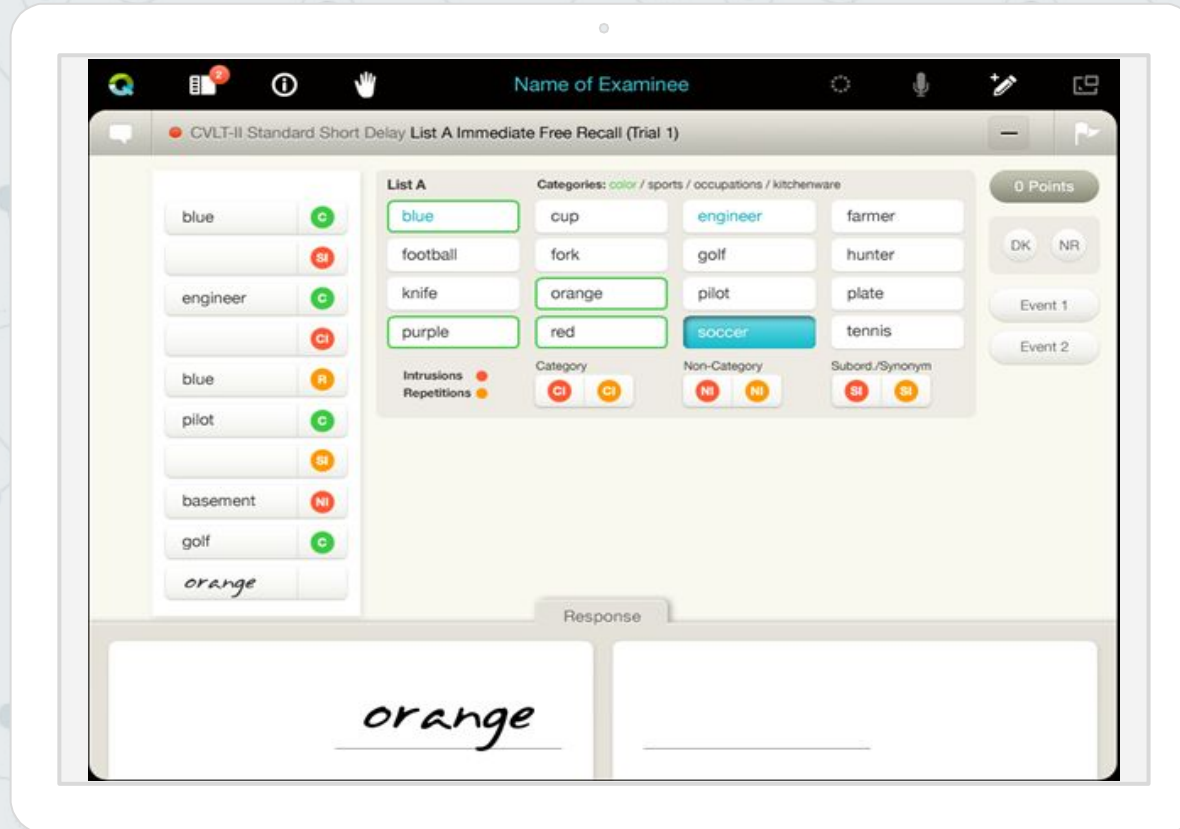
Los test clásicos presentan ciertas limitaciones:

- ⦿ Administración costosa
- ⦿ Percibidos como pruebas intrusivas y ajenas
- ⦿ Proporcionan detección tardía
- ⦿ Problemas de validez ecológica
- ⦿ Dependencia de variables de confusión



Disponen de datos normativos y validez clínica

2. Motivación



Nuevas alternativas:

Digitalización test, VR, **gamificación**, etc.

2. Motivación

Aplicar **gamificación** en la evaluación cognitiva:

- ⦿ Incrementa la motivación
- ⦿ Permite reproducir tareas próximas a las AVD
- ⦿ Permite incluir estímulos sensoriales
- ⦿ Estandariza la administración
- ⦿ Permite una recogida de datos automatizada



2. Motivación

Aplicar **ML** en la evaluación cognitiva:

- ◎ Dada la experiencia en el ámbito médico
 - Enfermedad del cáncer
 - Dolencias cardíacas
 - Análisis imágenes cerebrales: MRI, PET



Research gap:

“**Juegos serios** para realizar una evaluación cognitiva, pero con validez **psicométrica** y usando técnicas de **ML**”



3.

Reto de investigación

Intentar dar respuesta a la siguiente pregunta

A decorative network diagram at the top of the slide, featuring a central node with a dashed circle around it, connected to several other nodes. The nodes are represented by small circles, some solid and some dashed, connected by thin lines. The overall style is light blue and grey.

“

*¿Es posible crear un artefacto que permita
detectar **daño cognitivo** de forma precoz
en personas mayores,
haciendo uso de
juegos serios y técnicas de **ML**?*



Ámbito | Motivación | Reto de investigación | **Objetivos** |

Metodología | Contribuciones |

Conclusiones |

4.

Objetivos

4 Objetivo general

Diseñar un Test digital

Evaluación cognitiva
Ecológico
Juegos serios
Técnicas ML





Ámbito | Motivación | Reto de investigación | Objetivos |

Metodología | Contribuciones |

Conclusiones |

5. **Metodología**

DS Research Methodology in IS

F1. Motivación

Estudio sistemático del estado del arte.

1º artículo JCR (Q1, JBI) 1

F2. Solución propuesta

Implementar una batería para detectar MCI y AD mediante JS y ML.

Publicación conferencia

2

F3. Diseño y desarrollo

Diseñar y desarrollar juego para evaluar mem. episódica.

2º artículo JCR (Q2, PeerJ)

3

F4. Validación

1º Validación psicométrica (n=16) de la batería de JS.

3º artículo JCR (Q3, MIM)

4

F5. Evaluación

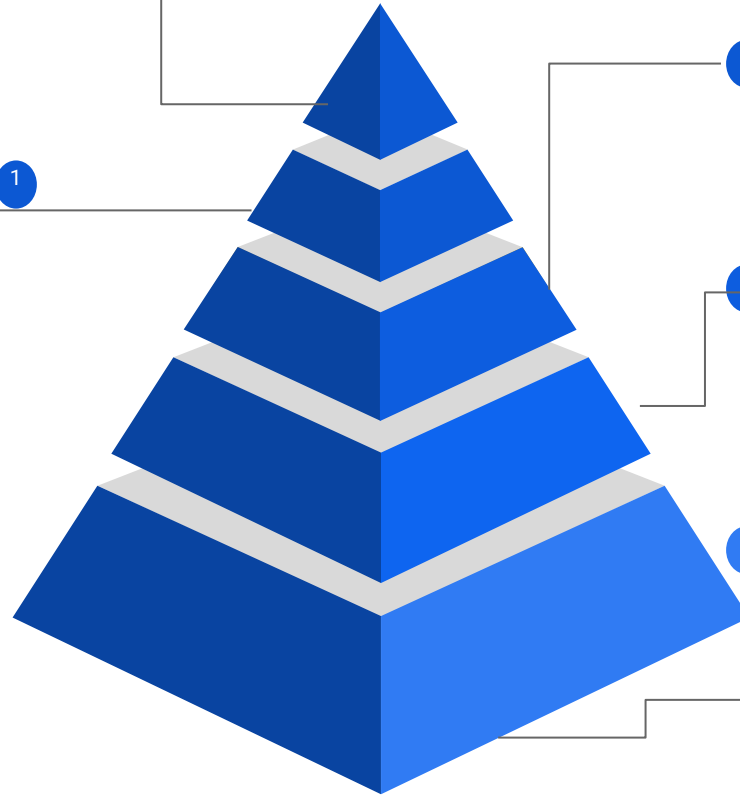
2ª Validación psicométrica con una muestra n=74.

Estudio de validez de criterio.

4º artículo JCR (Q2, PeerJ)

5º artículo (Q1, IJMI)

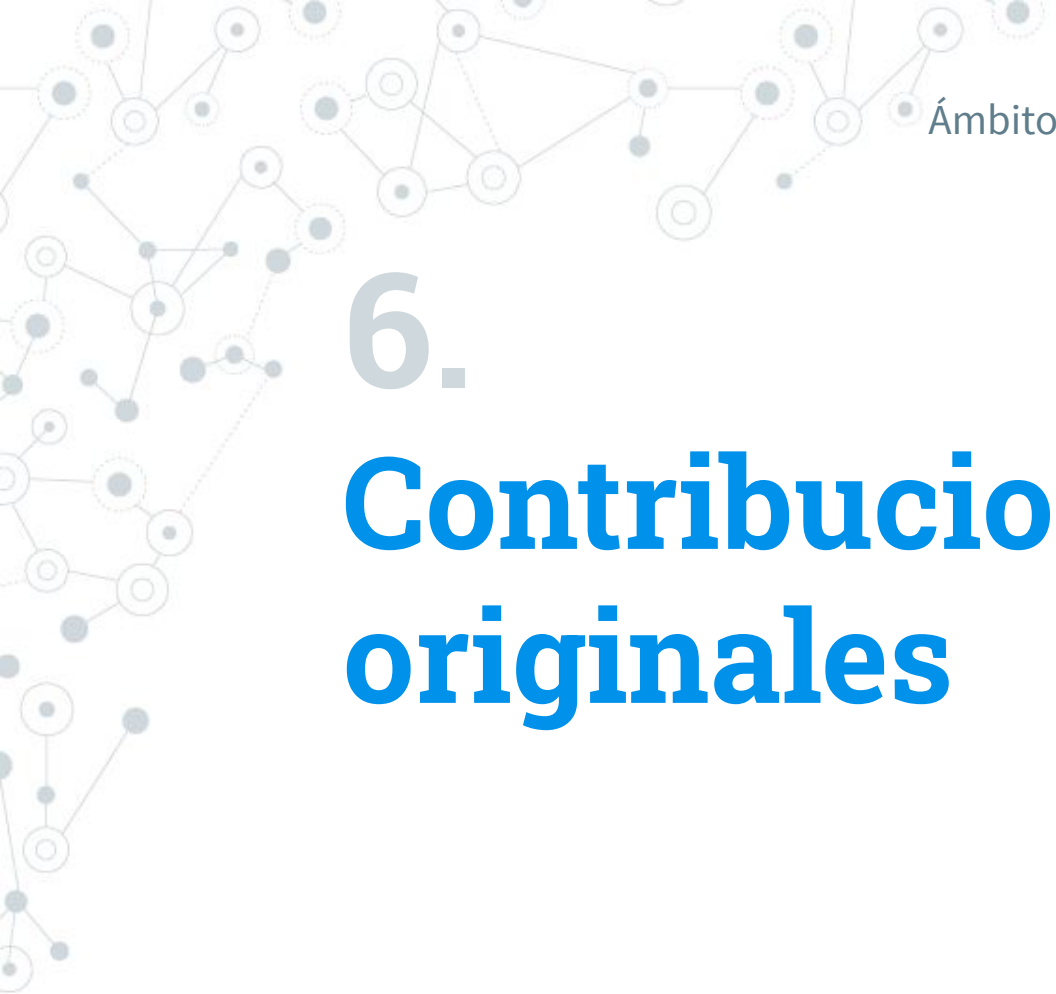
5





Parte II.

CONTRIBUCIONES



Ámbito | Motivación | Reto de investigación | Objetivos |

Metodología | **Contribuciones** |

Conclusiones |

6.

Contribuciones originales

6. Contribuciones originales

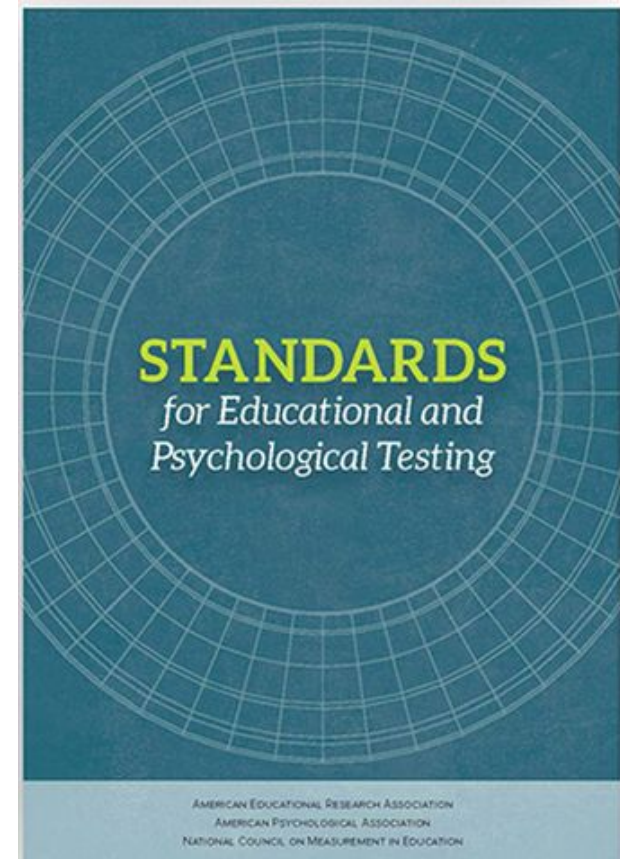
Tesis presentada por compendio de **artículos**:

1. Valladares-Rodriguez et al. (2016), “Trends on the application of serious games to neuropsychological evaluation: A scoping review” J. Biomed. Inform.
2. Valladares-Rodriguez et al. (2017), “Design process and preliminary psychometric study of a video game to detect cognitive impairment in senior adults” PeerJ.
3. Valladares-Rodriguez et al. (2018), “Learning to Detect Cognitive Impairment through Digital Games and Machine Learning Techniques” Methods Inf. Med.
4. Valladares-Rodriguez et al. (2018), “Episodix: a serious game to detect cognitive impairment in senior adults. A psychometric study” PeerJ.
5. Valladares-Rodriguez et al. (2019), “Touchscreen games to detect cognitive impairment in senior adults. A user-interaction pilot study” IJMI.

6.1 Propiedades psicométricas

- ◎ Validez (i.e., validity)
 - Criterion validity
 - Content validity
 - Construct validity
 - Face validity
 - External validity
 - Ecological validity

- ◎ Fiabilidad (i.e., reliability)
 - Test-retest reliability
 - Parallel forms reliability
 - Internal consistency reliability
 - Inter-rater reliability



6.2 Batería Panoramix

Principales marcadores cognitivos precoces



- ⊙ Memoria episódica
- ⊙ Atención
- ⊙ Funciones ejecutivas
- ⊙ Memoria semántica
- ⊙ Memoria de trabajo
- ⊙ Memoria de procedimiento
- ⊙ Gnosias visuales



6.2 Batería Panoramix

Episodix

Gamifica el CVLT.

Evalúa la memoria episódica.

Se deben recordar y/o reconocer:

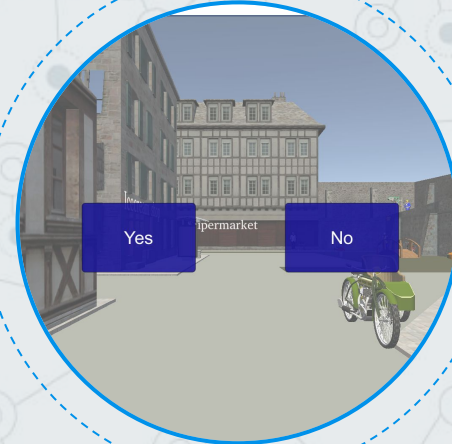
Lista principal A

Lista de interferencia B

Lista C de reconocimiento sí o no.



ly, let us go a last walk. Pay close attention to elen
you will see and hear and indicate whether or not
heard them, during first walk.

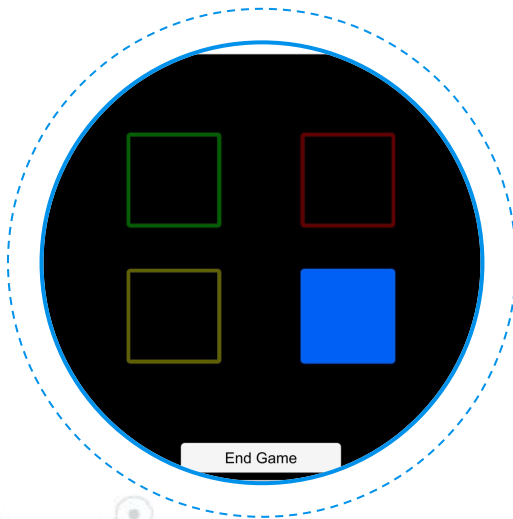


6.2 Batería Panoramix

Attentix

Adaptación del
Simon Says.

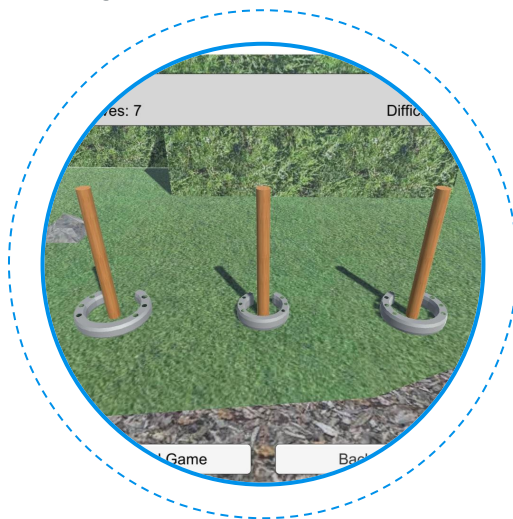
Evalúa la atención.



Executix

Gamifica el *Tower of Hanoi Test*.

Evalúa las funciones
ejecutivas.



Semantix

Gamifica el *Pyramids and Palm Trees*.

Evalúa la memoria
semántica.

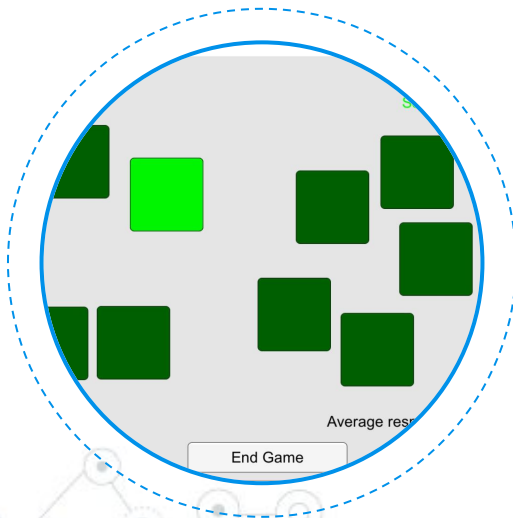


6.2 Batería Panoramix

Workix

Gamifica el *Corsi's Cubes test*.

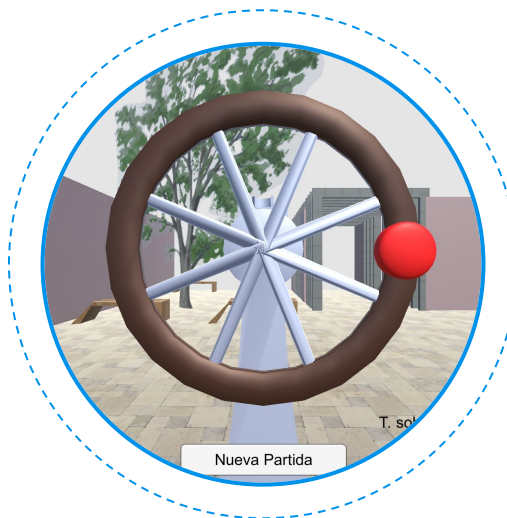
Evalúa la memoria de trabajo.



Procedurix

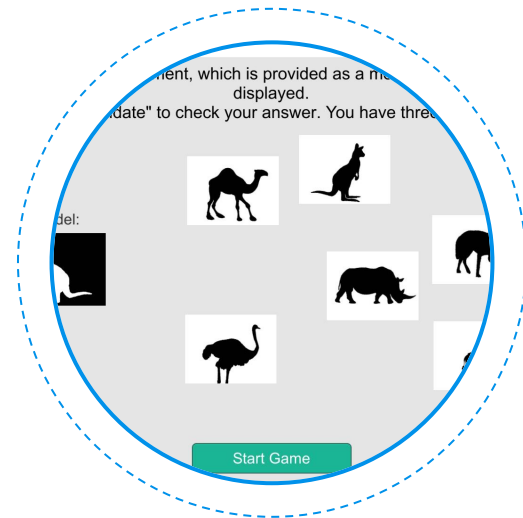
Gamifica el *Pursuit Rotor Task*.

Evalúa la memoria de procedimiento.



Gnosix

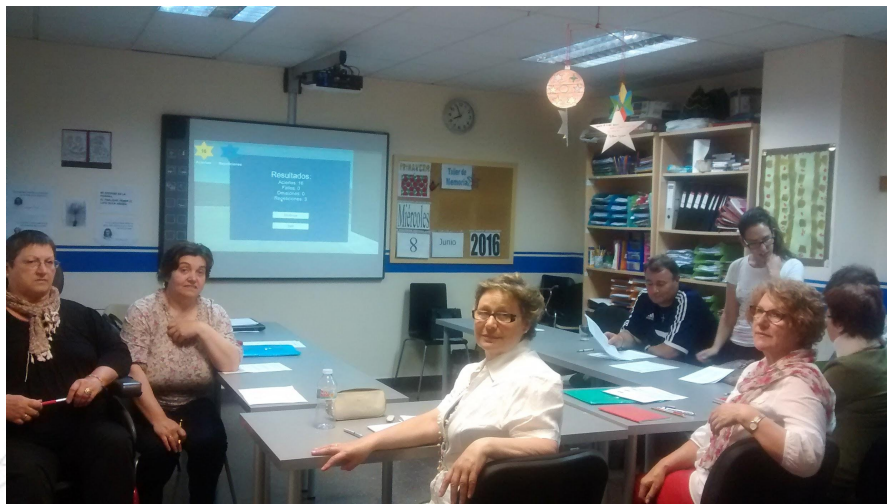
Gamifica tareas de gnosias visuales y evalúa dicha área cognitiva.



6.3 Experimentos pilotos de validación

104 personas mayores y 15 profesionales

- ◎ Validación de diseño con 2 sesiones o *focus group*
 - Programa sénior uvigo (n=5)
 - AFAGA (n=7)
- ◎ 1ª Validación psicométrica preliminar^a
 - n= 16 (corte transversal: 8 HC, 3 MCI y 5 AD)



^aAutorización comité ético (2016/236)

6.3 Experimentos pilotos de validación

104 personas mayores y 15 profesionales

2ª Validación psicométrica^b

◎ Perfil sénior

- Inicial: n=74 > 55 años (i.e., 47 mujeres y 27 hombres)
- Completaron el estudio: n=64 (i.e., 20 AD, 16 MCI y 28 HC)
- Representativa estadísticamente (95% IC y 7.5% error)
- Sesiones realizadas en los talleres cognitivos

◎ Perfil profesional

n=15 (i.e., USC, uvigo, AFAGA, AFAMO y la residencia Sta. Marta)

^bAutorización comité ético (2016/477)

6.3 Experimentos pilotos de validación

Validación **psicométrica**

- Validez de contenido: expertos y *focus group*
- Validez de apariencia: expertos y *focus group*
- Validez ecológica: participantes
- Validez de constructo: participantes
 - Correlación de *Pearson* con los test clásicos
- Validez externa: participantes
 - *GEQ - Game Experience Questionnaire*

6.3 Experimentos pilotos de validación

Validación **psicométrica**

- Validez de criterio: participantes
 - Algoritmos de ML:
 - LR, CART, SVM
 - RF, ET, GB, AB
 - ANN, KNN
 - Métricas:
 - *precision, $F(\beta=1)$, $F(\beta=1.5)$, sensitivity, specificity*
 - *TP, TN, FP, FN, Cohen's kappa, MAE*
 - *Curvas ROC y precision-recall*

6.3 Experimentos pilotos de validación

Validación **psicométrica**

- Validez de criterio: participantes del piloto
 - Procedimiento:
 - 80/20 entrenamiento y testeo
 - Validación cruzada, para evitar el sobreajuste
 - Análisis de las 10 *features* más informativas
 - *chi-squared* y ANOVA *F-value*

6.3 Experimentos pilotos de validación

Estudio de la **facilidad de uso** y la **utilidad**

Perfil sénior:

 (Likert 5 puntos)

1. Uso de videojuegos y su aplicación en el ámbito cognitivo
2. Las nuevas tecnologías (TIC)
3. Percepción sobre cada juego de *Panoramix* (1ª y 2ª sesión)
4. Percepción sobre la aceptación tecnológica: TAM

Perfil profesional:

 (Likert 7 puntos)

5. PSSUQ - *Post-study System Usability Questionnaire*

6.3 Experimentos pilotos de validación

Análisis estadístico:

Cronbach's α

1. Mide: consistencia interna
2. TAM (perfil sénior) y el PSSUQ (perfil profesional)



Student T-test

3. Mide: compara muestras pareadas
4. Percepción de cada juego (1ª y 2ª sesión)



Cohen's d

5. Mide: tamaño o magnitud de un efecto dado
6. Percepción pre-piloto y post-piloto



6.4

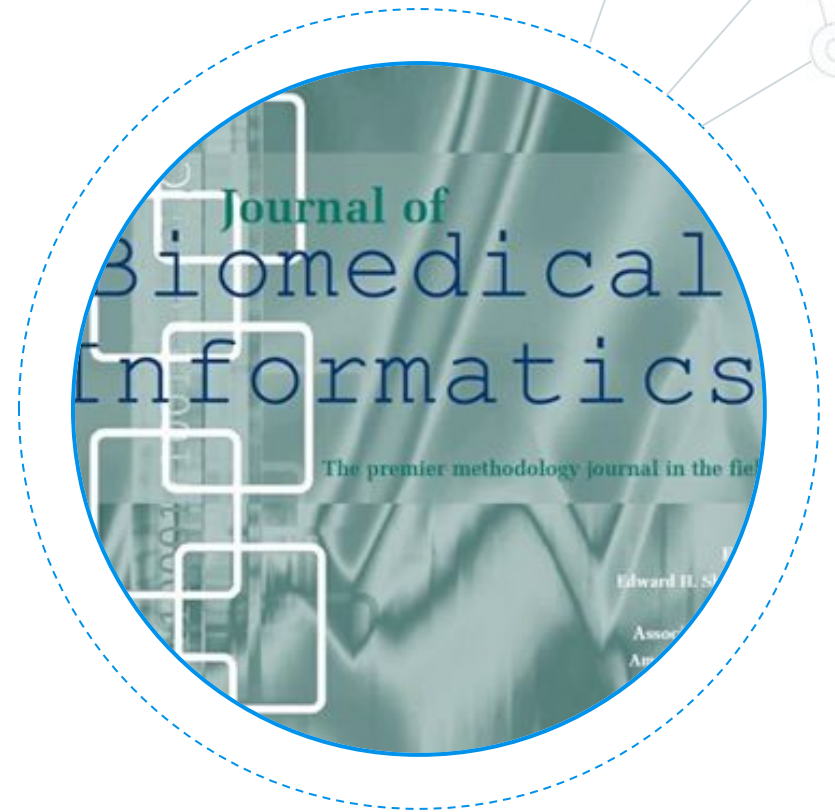
Principales contribuciones publicadas



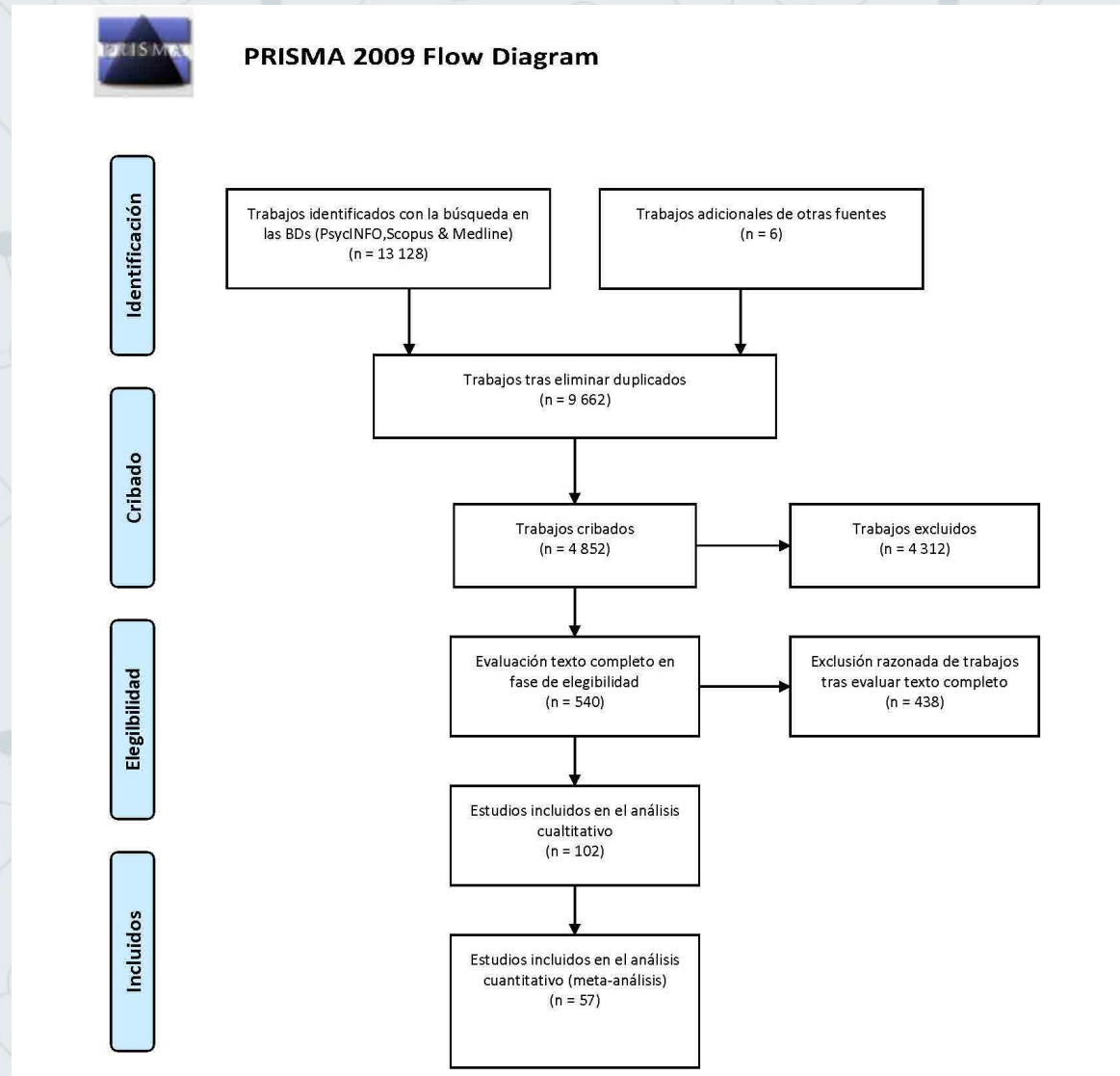
6.4.1 Estudio del estado del arte

1ª Publicación (2016)

- © “Trends on the application of serious games to neuropsychological evaluation: A scoping review”
- © J. Biomed. Inform.
- © **Q1**



6.4.1 Estudio del estado del arte



Revisión sistemática usando PRISMA:

MEDLINE, PsycINFO, Scopus y IEEE Xplore.

6.4.1 Estudio estado del arte

Principales conclusiones de la revisión final de 57 estudios:

- ◎ Creciente aplicación juegos serios en la evaluación neuropsicológica
- ◎ Principales áreas: atención y daño cognitivo
- ◎ Escasa validez psicométrica
- ◎ Sólo 1 estudio con validez normativa [Aula]
- ◎ Escasa aplicación de técnicas ML

6.4.2 Diseño y validación del juego *Episodix*

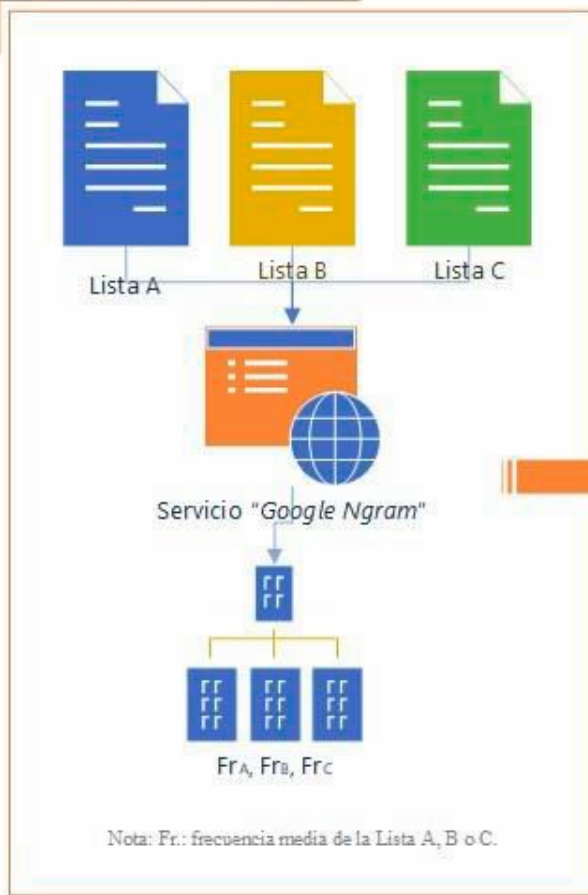
2ª Publicación (2017)

- © “Design process and preliminary psychometric study of a video game to detect cognitive impairment in senior adults”
- © PeerJ
- © Q2

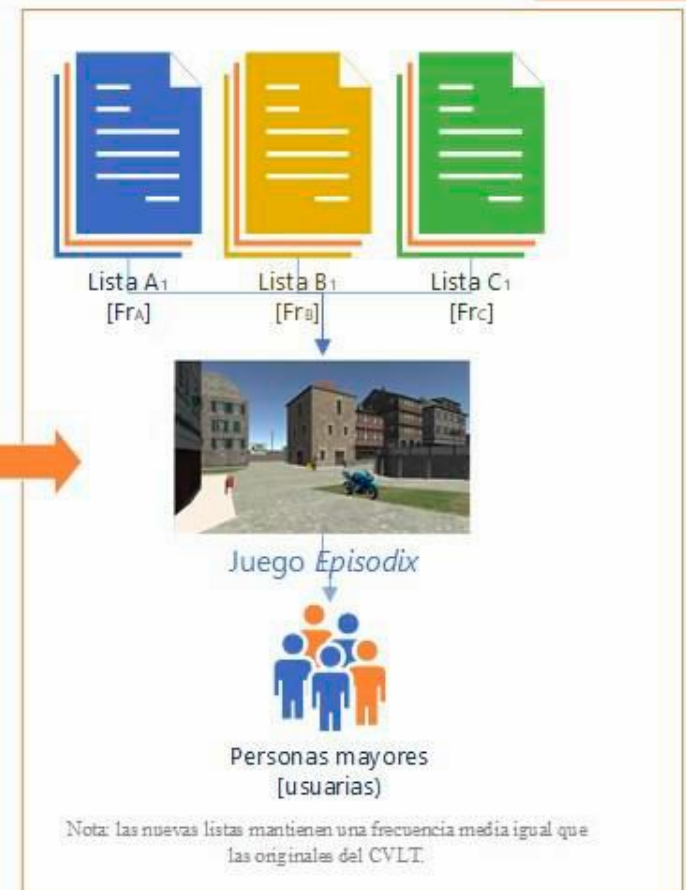


6.4.2 Diseño y validación del juego *Episodix*

Versión española del CVLT



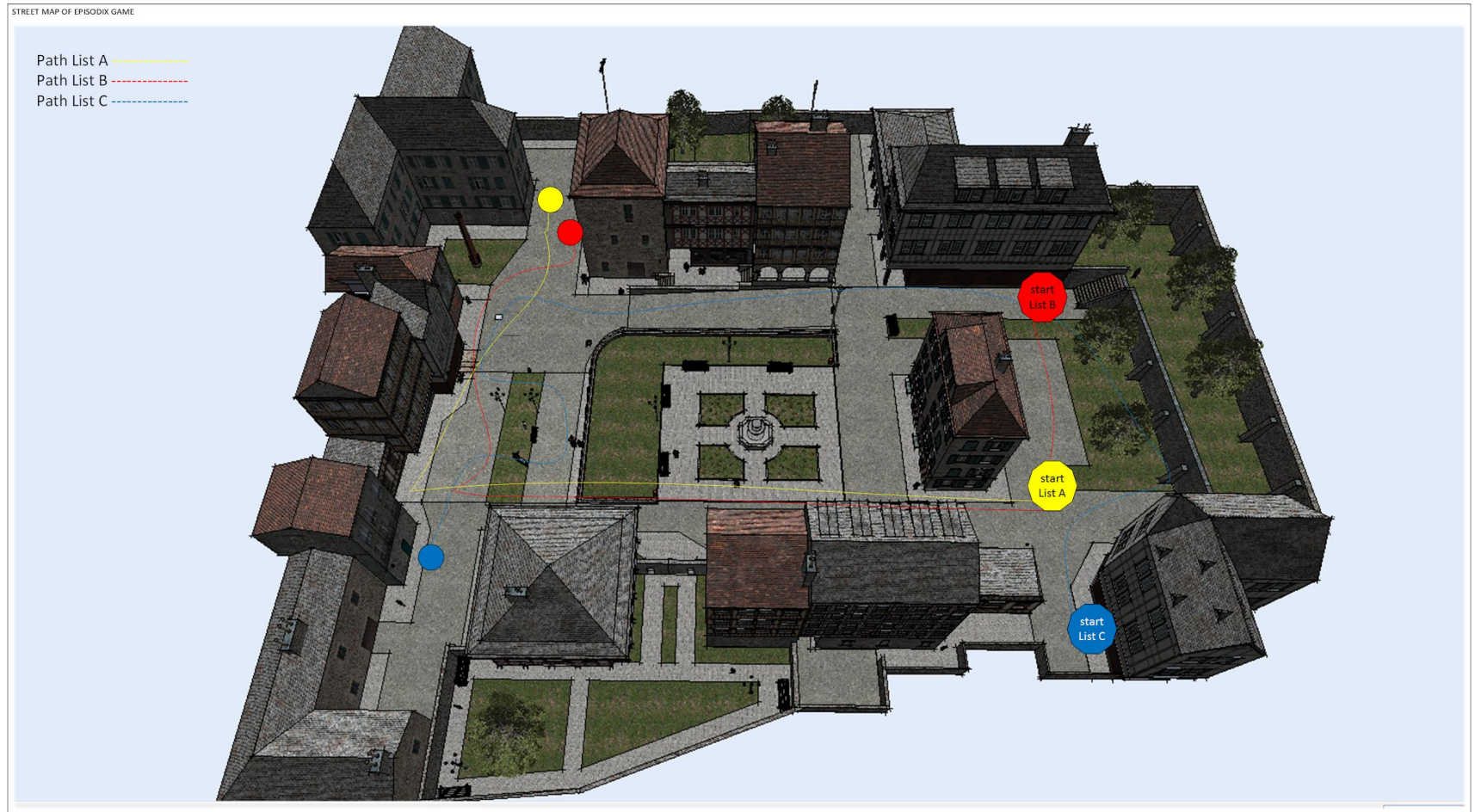
EPISODIX



Basado en la gamificación del TAVEC (i.e., CVLT):

3 listas, 4 categorías semánticas y misma fr_m palabras.

6.4.2 Diseño y validación del juego *Episodix*



CLVT vs *Episodix*:

Tiempo administración y procesado: 65'-75' → 30'

6.4.2 Diseño y validación del juego *Episodix*

Validación **psicométrica** preliminar (n=16):

- Validez de contenido
- Validez de apariencia
- Validez ecológica
- Validez de constructo (i.e., test: MMSE, CVLT y MAT)
- Validez de criterio (i.e., alg.: LR, RF y SVM)



Elevada correlación entre CLVT y *Episodix*.

Fallos, aciertos y omisiones en recuerdo a corto plazo con claves.

Mejores resultados de predicción con Random Forest:

Episodix [best % features]: precision=.86, F1=.89

Episodix+S+P [best % features]: precision=1, F1=1

6.4.3 Detección MCI y AD mediante JS y ML

3ª Publicación (2018)

- © “Learning to Detect Cognitive Impairment through Digital Games and Machine Learning Techniques”
- © Methods Inf. Med.
- © Q3



6.4.3 Detección MCI y AD mediante JS y ML

Validez de criterio

Juego serio	ML algoritmo	TP+TN ^a Accuracy	FN ^b	FP ^c	F-score ($\beta=1$)	F-score ($\beta=1.5$)
Semantix	LR	81.25%	6.25%	12.5%	0.86	0.87
	CART	75%	6.25%	18.75%	0.82	0.85
	SVM	75%	12.5%	12.5%	0.80	0.80
Procedurix	LR	73.33%	11.67%	15%	0.73	0.74
	CART	95%	1.67%	3.33%	0.95	0.96
	SVM	93.33%	0%	6.67%	0.94	0.96
Episodix	LR	50%	27.27%	22.73%	0.56	0.55
	CART	50%	22.7%	22.3%	0.62	0.62
	SVM	81.82%	9.09%	9.09%	0.85	0.85
E + S + P ^e	LR	100%	0%	0%	1.00	1.00
	CART	100%	0%	0%	1.00	1.00
	SVM	100%	0%	0%	1.00	1.00

6.4.3 Detección MCI y AD mediante JS y ML

Validez externa

Parámetros	Experiencia durante el juego	$\alpha \pm SD$ (todos)	$\alpha \pm SD$ (HC)	$\alpha \pm SD$ (MCI/AD) ^a
Sentimientos	Positivos, negativos y/o de incomodidad	0.85 $\pm$ 1.75	0.38 $\pm$ 0.71	0.89 $\pm$ 2.41
Pensamientos	Competencia y reto en el juego	0.61 $\pm$ 1.8	*	0.4 $\pm$ 1.49

^a Participantes con daño cognitivo fueron agrupados, debido al tamaño de la muestra

6.4.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*

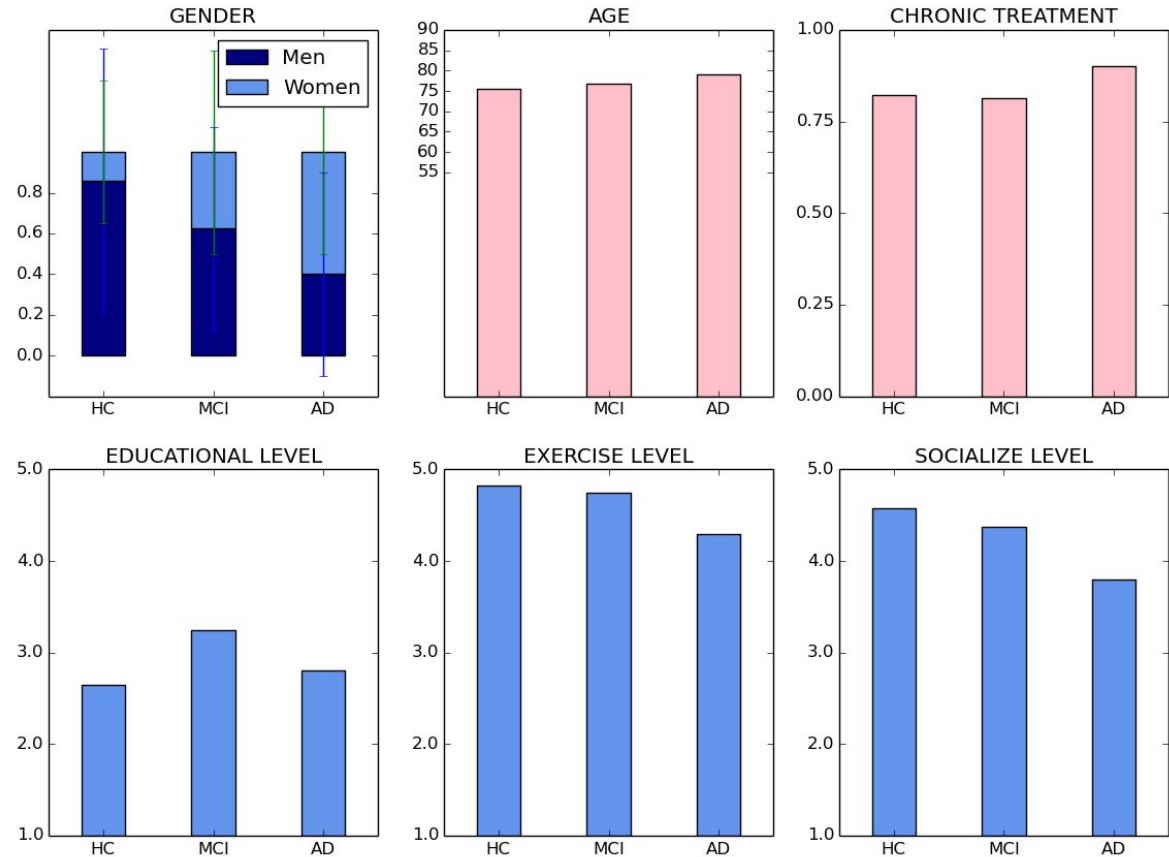
4ª Publicación (2018)

- © “Episodix: a serious game to detect cognitive impairment in senior adults. A psychometric study”
- © PeerJ
- © Q2



6.4.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*

- Evaluación cognitiva:
 - MMSE
 - CVLT
 - AD8
 - ADL - Barthel
 - quejas subjetivas
 - datos socio-culturales

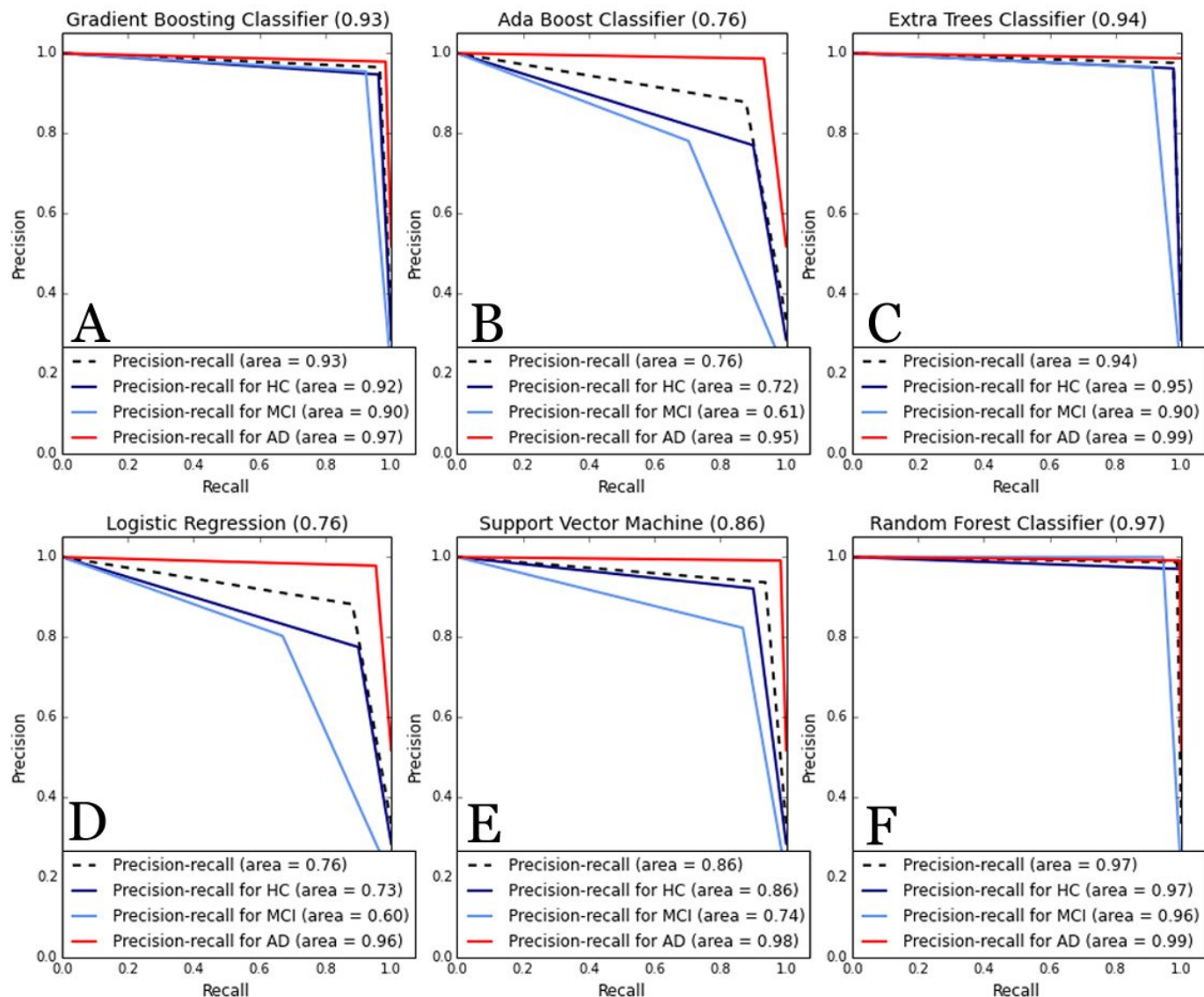


6.4.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*

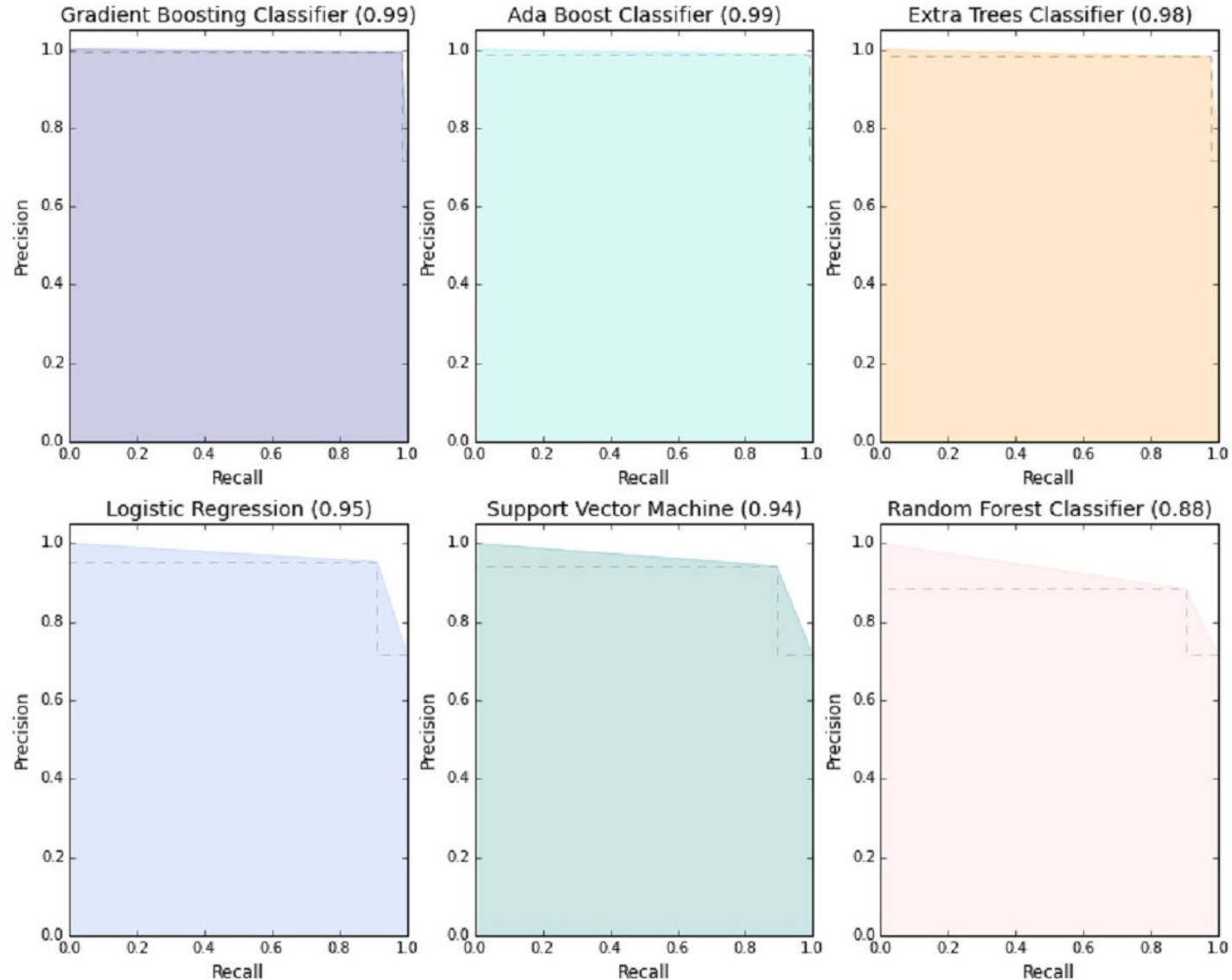
- Evaluación gamificada:
 - 3 sesiones con la batería



6.4.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*



6.4.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*



6.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*

Estudio de las 10 variables más informativas:

- *Episodix*:
 - nº de fallos en RI, R-CP y R-LP
 - nº de omisiones en R-LP y R-CSem
 - nº repeticiones en la fase de reconocimiento
- *Episodix+Procedurix+Semantix*:
 - Similares al caso previo
 - Duración total de las tareas del *Procedurix*

6.4 Validez psicométrica del juego *Episodix*

Aceptación tecnológica del *Episodix*:

Parámetros/ Participantes		HC	MCI	AD	Todos
PU ^b	M±SD	3.2±0.6	3.4±0.6	2.8±0.6	3.2±0.7
	α±SD	0.13±2.24	0.59±3.20	0.77±4.03	0.63±3.47
PEoU ^b	M±SD	3.4±0.4	3.5±0.4	3.2±0.1	3.4±0.3
	α±SD	0.83±5.4	0.55±3.0	0.64±4.4	0.79±5.3
ATU ^d	M±SD	3.7±0.5	3.7±0.7	3.4±0.3	3.6±0.5
	α±SD	0.68±2.3	0.83±4.1	0.80±2.6	0.80±3.1
PEoU ^{*e}	M±SD	3.6±0.4	3.7±0.4	3.5±0.1	3.6±0.3
	α±SD	0.74±2.5	0.55±2.5	0.52±2.9	0.76±3.5

PU: Utilidad percibida; PEoU: facilidad de uso percibida; y ATU: actitud hacia el uso futuro.

Cronbach's α para evaluar la consistencia interna del TAM

6.5.1 Usabilidad de la batería *Panoramix*

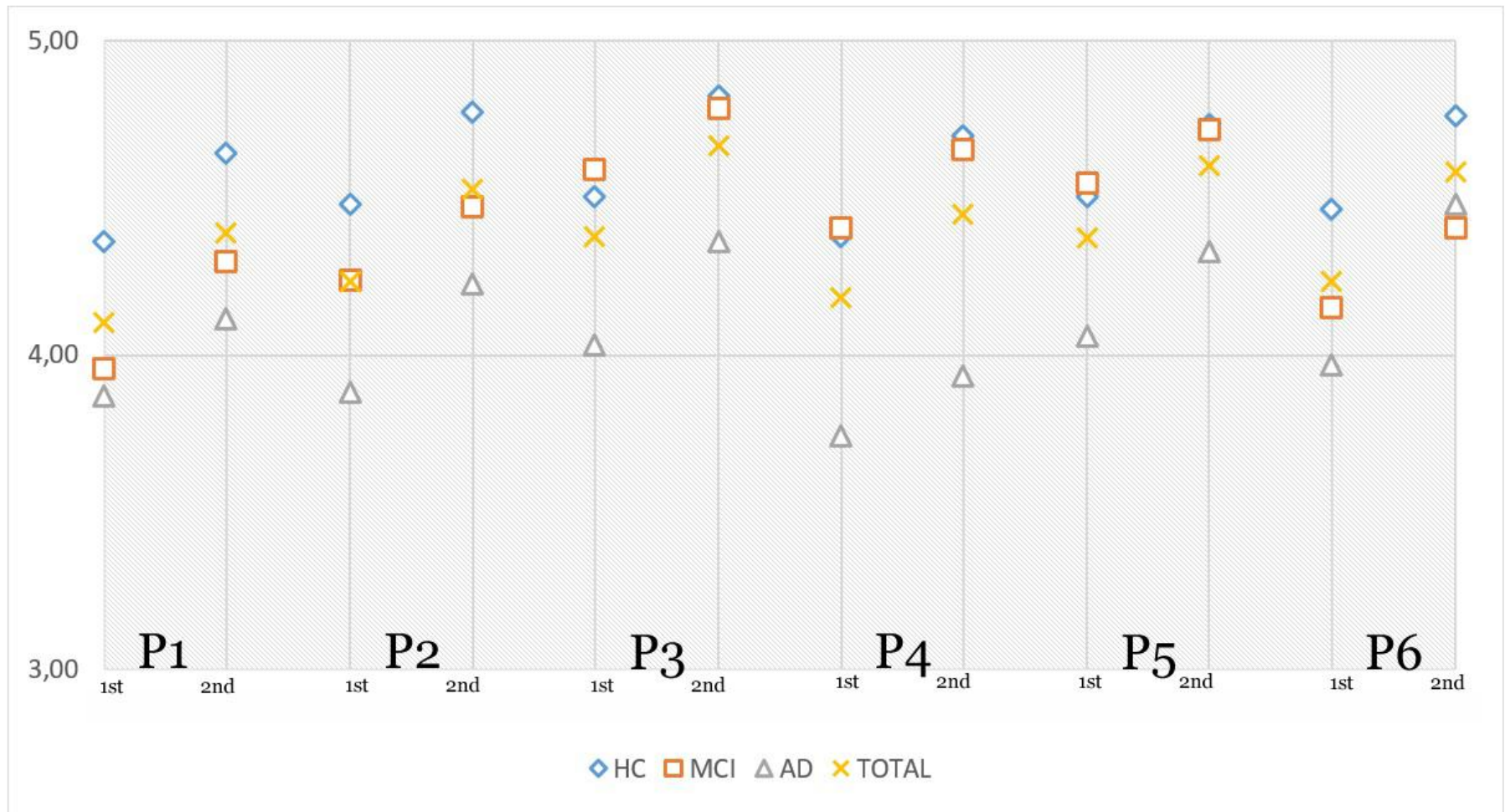
5º Artículo publicado en (2019)

- ◎ “Touchscreen games to detect cognitive impairment in senior adults. A user-interaction pilot study”
- ◎ IJMI
- ◎ Q1



6.5.1 Usabilidad de la batería *Panoramix*

Perfil sénior (percepción de la batería tras la 1ª y 2ª sesión)



6.5.1 Usabilidad de la batería *Panoramix*

Perfil profesional (*Cronbach's α* del cuestionario PSSUQ)

Parámetros/ Participantes		Todos	Mujeres	Hombres	Ámbito médico	Experiencia ≤ 10 años	Experiencia > 10 años
OVERALL	M±SD	6.5 ± 0.40	6.43 ± 0.41	6.63 ± 0.45	6.50 ± 0.40	6.47 ± 0.41	6.55 ± 0.43
	α ±SD	0.88 ± 8.03	0.91 ± 9.27	0.43 ± 3.46	0.89 ± 8.47	0.91 ± 9.09	0.72 ± 5.2
SYSUSE	M±SD	6.72 ± 0.12	6,61 ± 0.16	6.95 ± 0.09	6.73 ± 0.13	6.68 ± 0.14	6.83 ± 0.17
	α ±SD	0.91 ± 3.6	0.90 ± 4.08	0.57 ± 0.8	0.91 ± 3.90	0.92 ± 4.18	0.78 ± 1.74
INFOQUAL	M±SD	6,17 ± 0,50	6,13 ± 0.55	6.26 ± 0.44	6.17 ± 0.50	6.20 ± 0.57	6.11 ± 0.40
	α ±SD	0.71 ± 3.97	0.64 ± 3.78	0.82 ± 4.26	0.66 ± 3.83	0.81 ± 4.27	0.40 ± 3.25
INTERQUAL	M±SD	6.62 ± 0.20	6,60 ± 0.10	6.67 ± 0.58	6.62 ± 0.20	6.57 ± 0.25	6.73 ± 0.12
	α ±SD	0.64 ± 1.5	0.90 ± 1.66	0 ± 1.09	0.87 ± 1.55	0.57 ± 1.61	0.88 ± 1.17

Nota: escala *Likert* 7 puntos: 1(total desacuerdo), .., 7 (total acuerdo)

6.6 Validez de criterio de la batería *Panoramix*

Conferencia - ICCSA (2019)

Best Paper Award

- © “A Machine Learning Approach to the Early Diagnosis of Alzheimer’s Disease Based on an Ensemble of Classifiers”



6.6 Validez de criterio de la batería *Panoramix*

Administración:

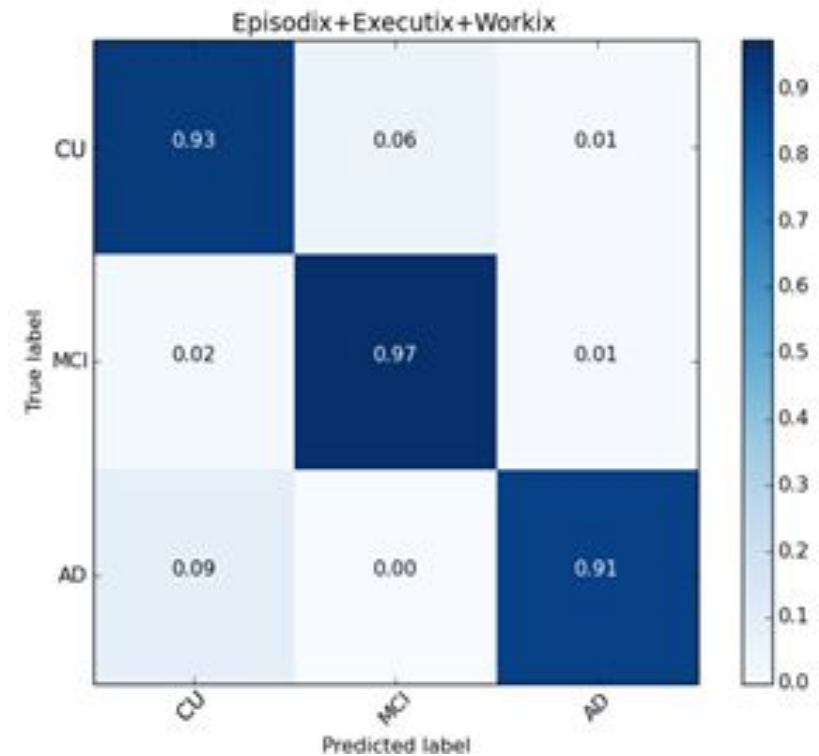
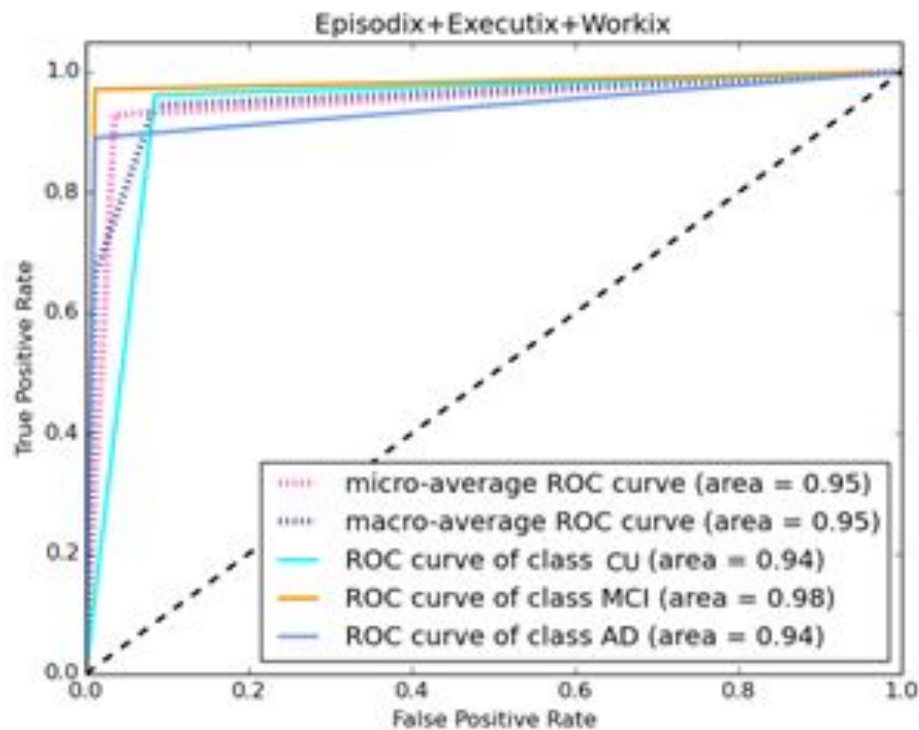
- 1ª parte *Episodix*
- Descanso (2 juegos restantes)
- 2ª parte *Episodix*

Total: 15 posibilidades

Set 3 games (15 possibilities)
EPISODIX + ATTENTIX + EXECUTIX
EPISODIX + ATTENTIX + GNOSIX
EPISODIX + ATTENTIX + PROCEDURIX
EPISODIX + ATTENTIX + SEMANTIX
EPISODIX + ATTENTIX + WORKIX
EPISODIX + EXECUTIX + GNOSIX
EPISODIX + EXECUTIX + PROCEDURIX
EPISODIX + EXECUTIX + SEMANTIX
EPISODIX + EXECUTIX + WORKIX
EPISODIX + PROCEDURIX + GNOSIX
EPISODIX + PROCEDURIX + SEMANTIX
EPISODIX + PROCEDURIX + WORKIX
EPISODIX + SEMANTIX + GNOSIX
EPISODIX + SEMANTIX + WORKIX
EPISODIX + WORKIX + GNOSIX

6.6 Validez de criterio de la batería *Panoramix*

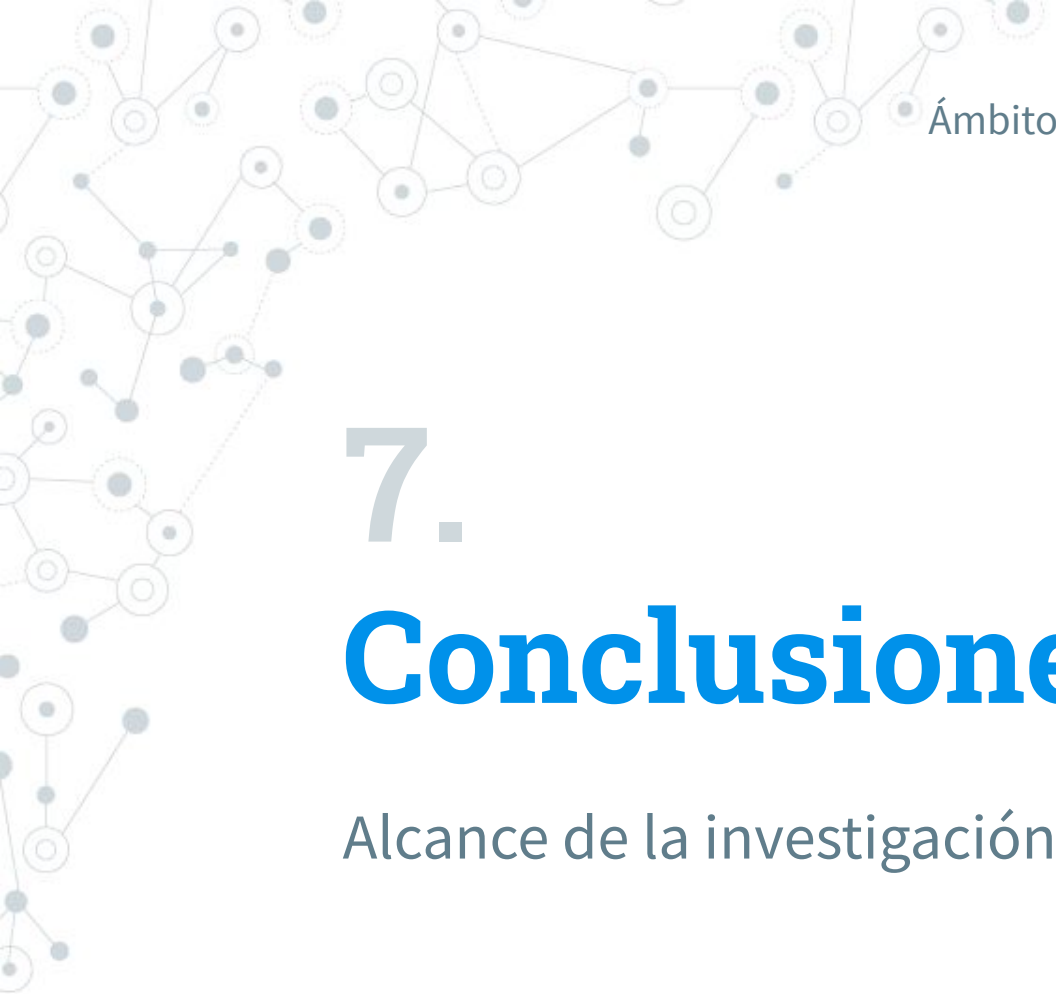
Mejor desempeño: Random Forest y *Episodix+Executix+Workix*





Parte III.

CONCLUSIONES



Ámbito | Motivación | Reto de investigación | Objetivos |

Metodología | Contribuciones |

Conclusiones |

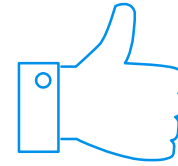
7.

Conclusiones

Alcance de la investigación

7. Conclusiones

Respuesta positiva al reto de investigación



La batería juegos permite detectar AD y MCI en personas mayores:

- 🎯 Juegos serios
- 🎯 Machine Learning
- 🎯 Dispositivos táctiles



7. Conclusiones

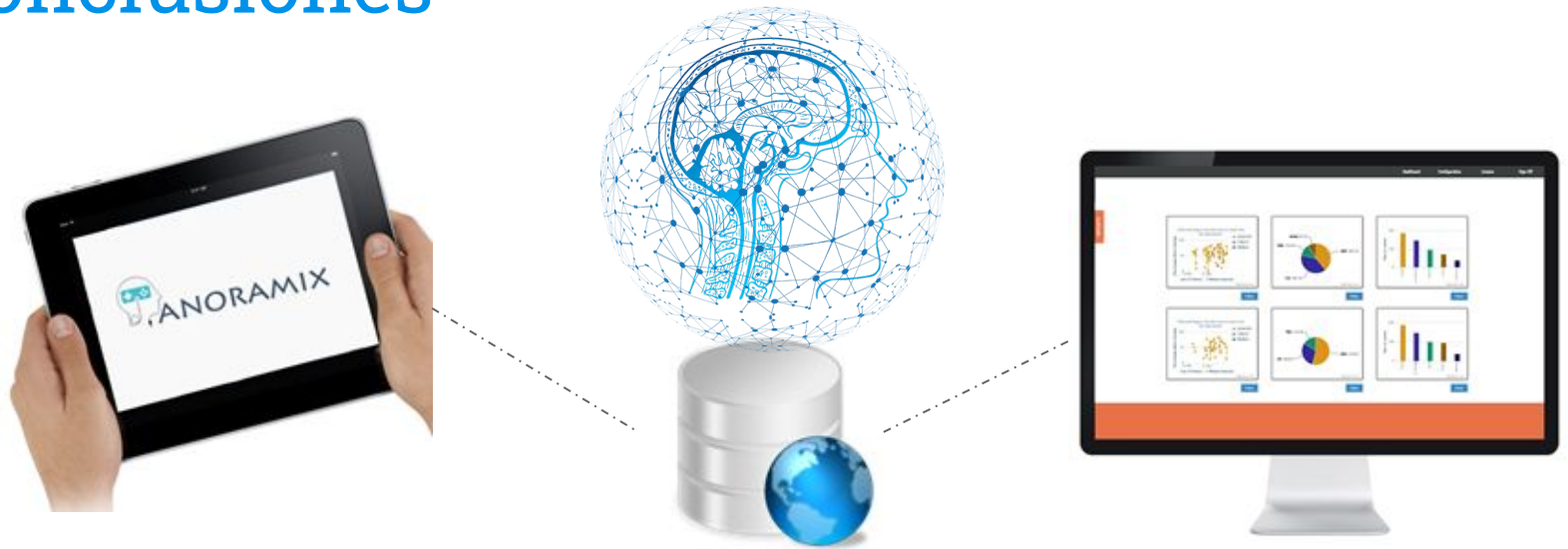
Gamificación

- Evaluar constructo cognitivo:
 - Mem. episódica
 - Atención
 - Funciones ejecutivas
 - ...
- Detectar MCI y AD

Evaluación digital y gamificada:



7. Conclusiones



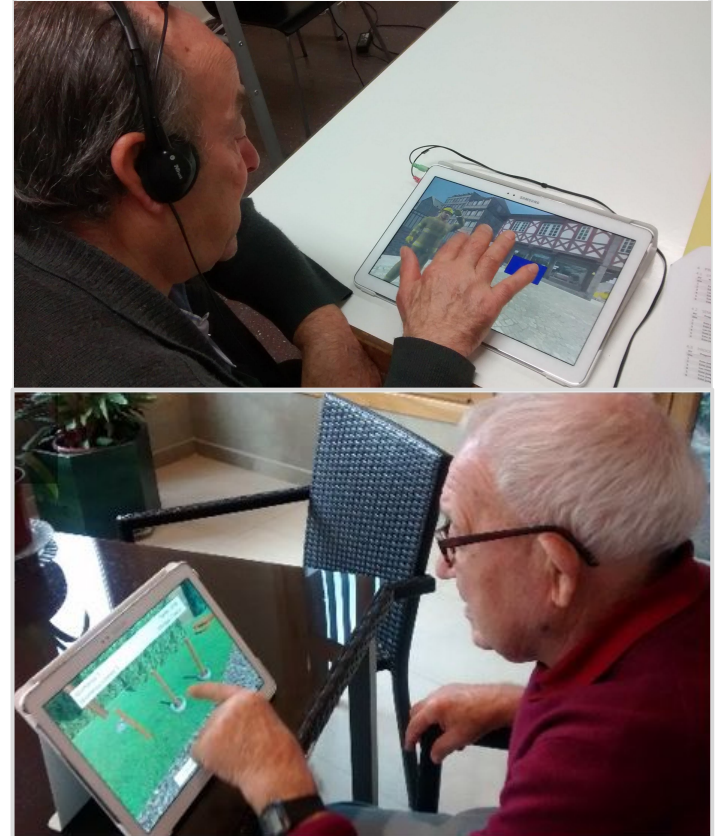
Machine Learning

Mejores algoritmos: Random Forest y *Extra Trees*

7. Conclusiones

Tecnológico

- Control táctil
- Facilidad de uso y utilidad
 - TAM, perfil sénior
 - PSSUQ, perfil profesional
- No rechazo



7. Conclusiones

Panoramix:

- ⊙ Mejora la administración de las pruebas
- ⊙ Mejora la percepción del instrumento
- ⊙ Facilita el cribado, permitiría una detección anterior
- ⊙ Mejora la validez ecológica de las pruebas
- ⊙ Menor dependencia de las variables de confusión



Vocación de la batería es ser un test digital neuropsicológico



Gracias

Turno de preguntas

Contacto:

GIST, EE. de Telecomunicaciones

soniavr@det.uvigo.es

