

Diseño de Métricas para la Medición del Nivel de Aprendizaje

Felix Vanni Duvergel Chapman¹ y Daniela López De Luise²

¹ CAETI-UAI, CABA C1147 AAH, Argentina
felix.duvergel@gmail.com

² CAETI-UAI, CABA C1147 AAH, Argentina
mdl1dl@ci2s.com.ar

Resumen. El Trastorno Espectro Autista (TEA) es una afección neurológica y de desarrollo que comienza en la niñez, pero dura toda la vida. Afecta el comportamiento, la interacción con otros, la comunicación y el aprendizaje. Existen numerosas aplicaciones cuyo objetivo es enseñar destrezas a estas personas y ayudarles en el proceso de integración a la sociedad. En este trabajo se presenta un modelo que aplica métricas a la enseñanza de emociones a través de un prototipo ludificado. Constituye una introducción a emociones, asistida por un software para niños con TEA. Permite supervisar la evolución de actividades relacionadas con el proceso de aprendizaje. A partir de la aplicación de estadísticas y minería de datos sobre parámetros objetivos del dispositivo, se obtienen parámetros de control de rasgos relativos al desempeño en condiciones del autismo.

Palabras claves: Trastorno Espectro Autista, Aprendizaje por Refuerzo, Instrucciones Asistidas por Computadoras, Métricas Gamificadas.

1 INTRODUCCIÓN

El Trastorno Espectro Autista es una condición que afecta a uno de cada ciento sesenta niños según cifras estimadas por la Organización Mundial de la Salud en el año 2019 [1]. Tres factores principales caracterizan al autismo: dificultad en la interacción social, dificultad en la comunicación y patrones restringidos, repetitivos y estereotipados de comportamiento, intereses y actividades [2]. Les cuesta mucho relacionarse con el mundo exterior, con otras personas o animales. Prefieren los objetos, pues tienen un “comportamiento predecible y monótono” [3].

El desarrollo de las ciencias informáticas ha permitido la incursión de las mismas en el mundo pedagógico. Dan lugar a una nueva generación de métodos de enseñanza y aprendizaje, en las que los chicos con Trastorno Espectro Autista (TEA) están incluidos. Es importante destacar que en estos pacientes existen dificultades especiales, ya que muchos no toleran el contacto de objetos con su piel, colocación o uso de dispositivos complejos, o situaciones de exposición a desconocidos [4]. En consecuencia, no es posible tecnificar sus actividades como se hace con personas sin TEA. Pero las Instrucciones Asistidas por Computadoras (CAI, por sus siglas en inglés *Computer Assisted Instructions*), han mostrado ser de utilidad, pues los pacientes

se sienten en un ambiente estable que les genera menor ansiedad [5]. A su vez, el acelerado incremento de funcionalidades en teléfonos móviles, tablets, computadoras ha simplificado el uso de estos dispositivos y nuevas aplicaciones se presentan como alternativas para la enseñanza a los menores con TEA. Entre las estrategias emergentes se pueden mencionar: El desarrollo y edición de *social stories* (historias de socialización) [6], comunicación verbal, desarrollo personal [7], desarrollo de emociones [8].

El presente trabajo emplea un prototipo gamificado para instruir emociones y a la vez registrar la actividad de los pacientes, definiendo un modelo de desempeño. A esos datos, se les aplica métricas ya probadas para evaluar el grado de concentración y aprendizaje en personas bajo niveles de estrés diverso [9] y otras que se presentan por primera vez aquí, para considerar las características diferenciales de los pacientes en estudio. Del prototipo, se captura adicionalmente información en tiempo real que permite mejorar la evaluación del desempeño según las consignas del juego.

El objetivo del trabajo es definir el perfil de aprendizaje del paciente mediante el modelo de desempeño. Se generan entrenamientos de sensaciones en pacientes TEA (aprendizaje por refuerzo) con los cuales se genera el modelo. Este modelo contribuye al fortalecimiento de las actividades necesarias para cada paciente y además, permite trabajar discriminadamente los casos TEA según sus métricas diferenciadoras de los NO-TEA.

En las secciones que siguen se presenta el marco teórico (sección 2), modelo de comportamiento (sección 3), el prototipo (sección 4), los tests (sección 5), análisis de resultados (sección 6), conclusiones y trabajos futuros (sección 7).

2 TRABAJOS RELACIONADOS

Entre los prototipos ejecutados específicamente para pacientes con TEA, se destaca PICTOAPRENDE [7], cuyo objetivo es incrementar la comunicación verbal y el desarrollo personal de niños y jóvenes con TEA moderado. Con el uso de PICTOAPRENDE se logra mejorar la memoria visual y auditiva de los pacientes, la identificación y correcta pronunciación de los números naturales en un 90% de los casos y el aprendizaje del 100% de los números propuestos.

Otra de las implementaciones usadas es *Chain of Words* (Cadena de palabras) [10], que evalúa el proceso relacionado con el déficit comunicacional de los niños, ya sea, adquisición y aprendizaje de nuevo vocabulario o la construcción de oraciones. Los autores observan mejoras en las habilidades para articular palabras y frases, siendo notable el caso de las oraciones. Esto confirma, que los dispositivos móviles pueden ser utilizados como herramienta de apoyo para aquellos niños que padecen TEA.

3 MODELO DE DESEMPEÑO

Una vez que se define el modelo de desempeño, es posible mejorar el proceso de aprendizaje del paciente, puesto que se hace posible identificar las razones concretas del rendimiento actual. Las métricas que se toman en el prototipo, se basan en las pre-

sentadas por trabajos anteriores, que han sido compilados y extendidos en el modelo de comportamiento bajo estrés presentado en [9] [11]. También se agregan otras que consideran el cambio de teclado y mouse a pantalla del móvil como único punto de interacción con el paciente como TI y VD. Las métricas RT, QP, APE, AS, MS, RO y las métricas derivadas ST/TTA y RT/TTA se consideran como aporte original de este trabajo, específicas para monitorear el tipo de usuario en estudio.

En la ec. 1 se presenta el modelo de desempeño (NA) [9]:

$$\mathbf{NA} = \langle \text{EE, ED, SE, NC, ZD, TTA} \rangle \quad (1)$$

Donde:

ED= Edad del paciente.

SE= Sexo del paciente.

NC= Nacionalidad del paciente.

ZD= Indica si el paciente es zurdo o diestro.

TTA = Tiempo total de juego.

De la captura de valores en tiempo real se derivan las métricas asociadas al *Estado Emocional* (EE). Se entiende por estado emocional al comportamiento del paciente durante el juego [9]. La ec. 2, es adaptada al contexto de este proyecto con la medición del resultado del paciente y la interacción del paciente con el dispositivo.

$$\mathbf{EE} = \mathbf{B(U)} + \mathbf{B(D)} \quad (1)$$

Asimismo, la medición del resultado del paciente $\mathbf{B(U)}$, se redefine como en la ec.

3.

$$\mathbf{B(U)} = \langle \text{RT, ST, ScoreResp, RVA} \rangle \quad (1)$$

Con:

RT= Tipo interacción (coincidir tres o más fichas consecutivas en la grilla).

ST= Puntuación total alcanzada en el juego.

ScoreResp= Puntuación parcial alcanzada en cada respuesta correcta.

RVA= Record Video y Audio (para análisis de rasgos faciales y muestras de audio).

La ec. 4 presenta la fórmula para medir la interacción del paciente con el dispositivo.

$$\mathbf{B(D)} = \langle \text{CP, QP, PE, APE, TE, TI, TEI, VD, AS, MS} \rangle \quad (1)$$

Donde:

CP= Coordenadas Pantalla donde se produce la interacción.

QP= Cuadrante Pantalla donde se produce la interacción.

PE= Presión ejercida sobre la pantalla.

APE= Área presionada sobre la pantalla.

TE=Tpo en el que se produce la interacción.

TI =Total de interacciones con la pantalla.

TEI = Tiempo efectivo de interacción (Tiempo total que se mantiene la pantalla oprimida).

VD= Velocidad de desplazamiento del cursor.

AS= Registro del sensor acelerómetro.

MS= Registro del sensor magnetómetro.

RO = Rotación del dispositivo.

Estas variables se monitorean y extraen durante la ejecución de la aplicación.

4 PROTOTIPO

Una aplicación específicamente diseñada para la enseñanza de las emociones es *Mixed Emotions* (Mezcla de emociones) [12]. Se encuadra dentro del género de los juegos *Matching-Tile* (Coincidencias de fichas). La actividad consiste en la asociación de diferentes imágenes de caras por proximidad física. Las fichas se presentan en una grilla con íconos desplazables horizontal y verticalmente (Ver fig 1).



Fig. 1. Fichas en Mixed Emotions

El tablero resultante representa cinco emociones diferentes (enojo, vergüenza, felicidad, tristeza y sorpresa). Cuando el intercambio de íconos da como resultado, tres o más fichas que expresen la misma emoción, se activa un archivo de sonido que pronuncia el sentimiento asociado, se incrementa el marcador del paciente y se eliminan las celdas marcadas (ver Fig. 2)

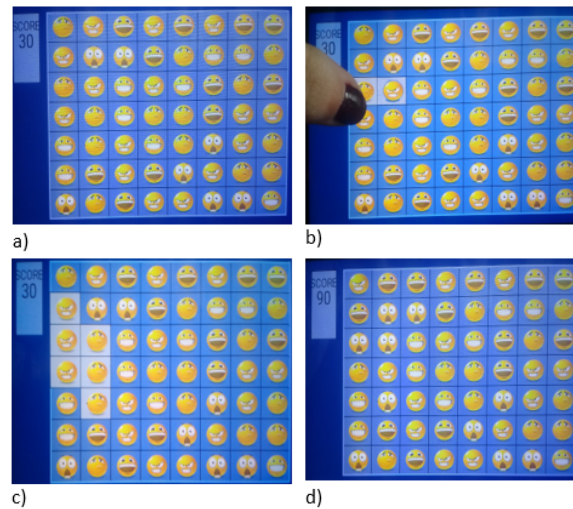


Fig. 1. Movimiento en Mixed Emotions

Como se observa, la grilla muestra caras mezcladas (Fig.2a), se seleccionan dos íconos adyacentes que deberán intercambiar lugar (Fig. 2b), luego el sistema señala dónde se producen coincidencias de tres o más rostros (Fig. 2c), los remueve y desplaza los mosaicos, incorporando otros al azar hasta completar nuevamente la pantalla (Fig. 2d). De esta manera, se plantea el proceso de enseñanza de las emociones como un juego, donde el paciente se siente el centro del juego y toma sus propias decisiones, es capaz de ver su progreso (a través del puntaje) y asume nuevos retos (cambios de nivel). Esta experiencia coincide con uno de los conceptos de gamificación [13].

En este trabajo, se modifica este prototipo para la captura de datos y obtención de las métricas. En la fig. 3 se muestra el algoritmo de las modificaciones realizadas.

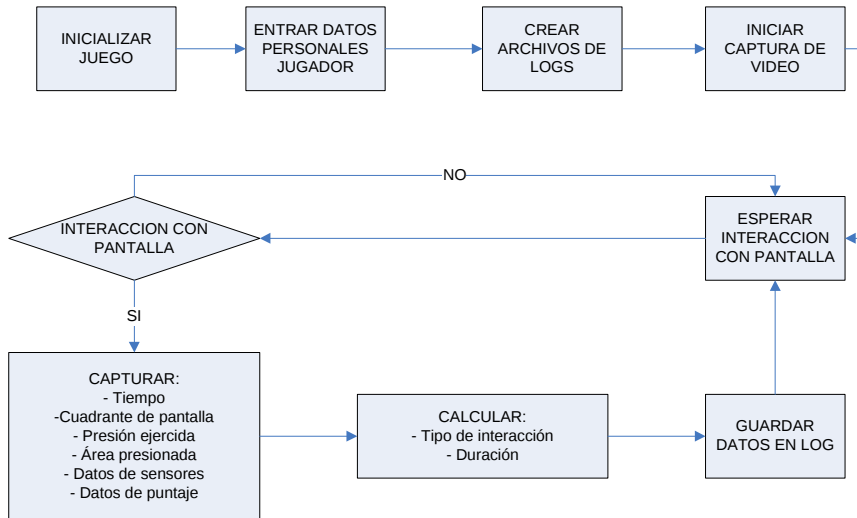


Fig. 1. Modificaciones realizadas al diseño original del prototipo

Cada vez que el paciente interactúa con la pantalla, se capturan una serie de datos que luego son guardados en los archivos de logs. De los sensores se obtiene un log (Sensores.txt), donde se guardan los valores registrados en los tres ejes (ver Fig. 4)

TimeStamp	TipoSensor	ValorX	ValorY	ValorZ	Rot
1584371215749	1	0.6727707	3.040.636	9.355.343	1
1584371215859	2	20.24	-0.6	25.487	1
1584371216007	1	0.6727707	3.040.636	9.355.343	1
1584371216020	2	21.439.499	-0.15	25.786.999	1
1584371216067	1	34.943.373	-0.79607207	9.212.888	1
1584371216135	2	18.290.998	-0.4996667	28.335.665	1
1584371216262	1	3.514.688	-0.8367735	916.261	1
1584371216368	2	1.656.675	-0.56225	297.225	1
1584371216455	1	3.525.462	-0.7110779	9.066.842	1
1584371216535	2	155.022	-0.5698	30.764.599	1
1584371216655	1	3.918.111	-16.687.586	9.094.376	1
1584371216736	2	16.241.835	-0.8246667	30.135	1

Fig. 1. Log Sensores.txt

Esta información es complementada con otro log (Posiciones.txt) que captura a cada momento la información específica de pantalla como la presión ejercida en la pantalla y el área presionada (ver Fig. 5) y un tercer log (Resultados.txt) con los resultados generales del juego (Fig. 6).

TE	ValorX	ValorY	PE	APE	RC	ScoreResp	ST
15042020-080702p. m.	6	6	1.0	0.003921569	1erToque	0	0
15042020-080702p. m.	5	6	1.0	0.007843138	true	30	90
15042020-080705p. m.	4	3	1.0	0.007843138	1erToque	0	90
15042020-080706p. m.	4	4	1.0	0.007843138	true	60	150
15042020-080708p. m.	6	4	1.0	0.003921569	1erToque	0	150
15042020-080708p. m.	6	3	1.0	0.003921569	true	30	210
15042020-080712p. m.	4	2	1.0	0.003921569	1erToque	0	210
15042020-080712p. m.	4	3	1.0	0.003921569	true	30	300
15042020-080717p. m.	4	5	1.0	0.003921569	1erToque	0	300
15042020-080717p. m.	3	5	1.0	0.007843138	true	60	420
15042020-080726p. m.	6	6	1.0	0.003921569	1erToque	0	420
15042020-080726p. m.	6	5	1.0	0.003921569	true	30	480
15042020-080731p. m.	5	3	1.0	0.003921569	1erToque	0	480
15042020-080731p. m.	5	4	1.0	0.003921569	true	90	600
15042020-080734p. m.	0	3	1.0	0.003921569	1erToque	0	600
15042020-080734p. m.	1	3	1.0	0.003921569	true	30	630
15042020-080737p. m.	4	0	1.0	0.007843138	1erToque	0	630
15042020-080737p. m.	4	1	1.0	0.007843138	true	60	690
15042020-080739p. m.	2	2	1.0	0.003921569	1erToque	0	690
15042020-080739p. m.	2	3	1.0	0.007843138	true	30	720

Fig. 1. Log Posiciones.txt

Nombre	Apellido	Nacionalidad	Sexo	Edad	Mano	TiempoInicio	TiempoFin	TiempoEffect	TotalRespuestas	TotalRespuestas	Score
								Interacciones	Correctas	Incorrectas	Total
Juan	Perez	Argentina	Masculino	17	Diestro	1584371215552	1584371249381	13	12	4	210

Fig. 1. Log Resultados.txt

5 CASO DE ESTUDIO

Para el testeo del prototipo, en esta primera etapa, se trabaja con un paciente TEA cuya familia accedió a ser voluntaria. El paciente de 10 años está diagnosticado con autismo por un centro privado especializado en el tema.

Como grupo control se realiza el mismo test con dos menores de 13 y 15 años sin TEA, a quienes se referirá en adelante como NO-TEA13 y NO-TEA15 respectivamente. A fin de no sesgar el estudio, se adapta el prototipo para el uso de un dispositivo tipo tablet con el que está familiarizado el paciente. De esta manera se evita generar más estrés, lo que afectaría el resultado de la prueba. Otro factor importante es la realización en un ambiente familiar para el paciente, siempre con la atención de un supervisor y las correspondientes autorizaciones del tutor para la protección de sus datos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, el estudio estadístico y con minería de datos de los mismos.

La Tabla 1 muestra el total de interacciones de cada paciente con las características de datos obtenidos del dispositivo, algunos son métricas directamente y otros sirven como base de cálculo de métricas. Se puede observar que en caso del paciente TEA, la cantidad es el doble de la media de los pacientes NO-TEA.

Tabla 1. Sumario de datos compilados según log Posiciones.txt

test	interacciones	atributos
TEA	440	TE Valor x Valor y PE APE
NO-TEA13	189	
NO-TEA15	291	

test	interacciones	atributos
		RT ScoreResp ST

A fin de evaluar las características del modo de responder se realiza un agrupamiento por *Expectation Maximization*.

Tabla 1. Sumario de Agrupaciones (clusters)

Attribute	Cluster TEA		Cluster NO-TEA13		Cluster NO-TEA15	
	0	1	0	1	0	1
	0.72	0.28	0.55	0.45	0.4	0.6
ValorX						
mean	3.24	3.07	3.10	3.07	3.66	3.37
std. dev.	1.95	1.79	1.91	1.88	1.82	1.83
ValorY						
mean	2.44	2.50	3.51	3.44	3.70	3.42
std. dev.	1.60	1.45	1.61	1.50	1.56	1.53
PE						
mean	1	1	1	1	1	1
std. dev.	0	0	0	0	0	0
RT						
lerToque	183.99	1.01	92.98	1.02	1.01	141.99
False	41.99	1.01	3.98	1.02	1.01	14.99
True	1.12	123.88	1.17	86.82	117.85	1.15
Repite	19.99	1.01	3.98	1.02	1.91	1.99
NotAdj	74.99	1.01	5.98	1.02	1.01	9.99
[total]	322.08	127.92	108.10	90.90	121.89	179.11
ScoreResp						
mean	0.012	34.87	0.06	35.21	34.95	0.03
std. Dev.	0.62	10.79	1.43	12.12	10.85	0.97
ST						
Mean	4255.56	4342.88	3593.63	3520.09	4161.91	4075.20
Std. Dev.	2419.66	2142.73	1945.16	1993.13	2378.38	2459.87

En todos los casos se obtienen dos agrupaciones: el Cluster0 (típicamente respuesta mala, en ScoreResp) y Cluster1 (buena respuesta). Mientras en TEA se observa una marcada mayoría hacia el Cluster 0, en NO-TEA13 son casi iguales y en NO-TEA15 hay mayoría hacia el Cluster1. En el primer caso podría ser un signo de la dificultad hallada por el TEA, en los otros casos indicaría un juego relajado (TEA-13) y otro un poco más concentrado (TEA-15).

Es interesante observar que RT con valor Repite es desproporcionadamente alto para TEA. Esto manifiesta movimientos repetitivos sobre el mismo ícono, lo que coincide con las conductas propias de este trastorno. Asimismo, NotAdj, tiene valores muy altos, y representa jugadas sin coherencia, donde se busca asociar íconos no adyacentes. Aparentemente el TEA no logra asociar el concepto de adyacencia.

Esta diferenciación también se advierte en la métrica QP-TEA, cuyo promedio es 1.99 contra QP-NOTEA13 (de 2.43) y NO-TEA15 (de 2.41), por lo que NotAdj y el modelo EM llegan a confirmar y profundizar las formas en que se expresa el QP. La gráfica QP de la Fig. 7, alcanza a ver visualmente lo mismo, con el dominio de TEA en los valores más bajo, y los otros valores sobresaliendo.

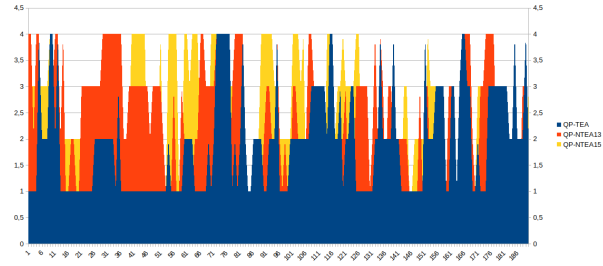


Fig. 1. Valores de QP

A fin de modelar con reglas la dinámica en el juego, se realiza una clasificación con sesgo J48 sobre la variable RT. El clasificador es adecuado ya que se basa en ganancia de información como criterio de modelado. Como el campo RT es Nominal, se realiza la conversión de la Tabla 3.

Tabla 1. Asignación de etiquetas variable RT

Valor Nominal	Descripción	Etiqueta
1erToque	Toque al inicio o luego de alguna respuesta	1
NotAdj	Selección de una ficha no adyacente	2
Repite	Selección de la misma posición dos veces	3
False	Match de 3 íconos no adyacente a 1er toque	4
True	Match de 3 íconos y sube el puntaje	5

Dado que el heurístico nominaliza por compartimentos equiparados, se realiza la nominalización antes de la primera modelización. Se observa un árbol de 294 hojas cuyo **Kappa statistics** es de apenas 0.25; en el caso de NO-TEA13 el árbol tiene 120 hojas y Kappa 0.06; y para NO-TEA15 son 168 hojas, y Kappa 0.17. Los resultados indican que el pasaje introdujo un sesgo al no considerar la distribución de información dentro del campo, aunque clasifique razonablemente bien las instancias.

Para evitar este sesgo, se opta por hacer la nominalización por entropía donde se obtiene un árbol mucho más representativo (ver Fig. 8, 9 y 10), con menor cantidad de hojas y un Kappa de mejores valores.

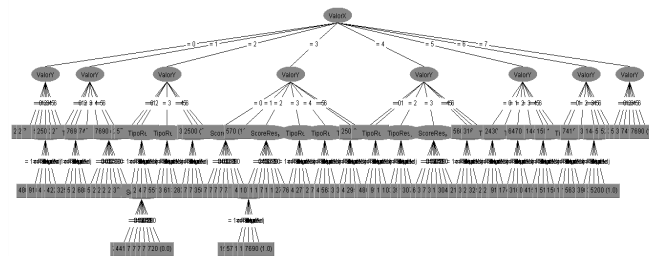


Fig. 1. Árbol de inducción para TEA (completo)

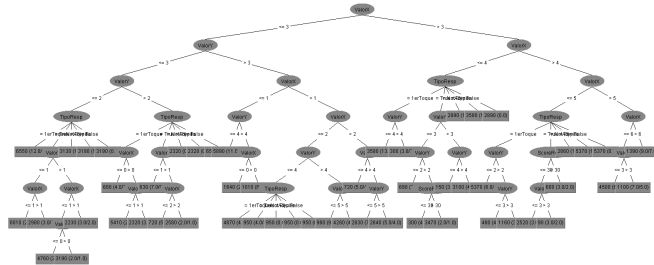


Fig. 1. Árbol de inducción para NO-TEA13 (podado)

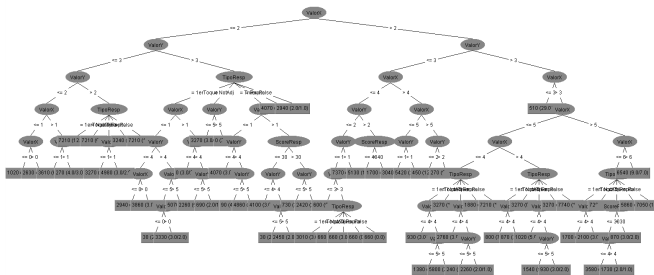


Fig. 1. Árbol de inducción para NO-TEA15 (podado)

El árbol TEA tiene como variables de máxima entropía sólo valorX, valorY. El árbol de NO-TEA13 y NO-TEA15 tienen como variables de máxima entropía valorX, valorY y RT (con 50 y 70 hojas respectivamente). Se puede observar que el árbol TEA es, llamativamente más homogéneo, simple y balanceado, con apenas 3 niveles de profundidad, lo que contrasta con los 7 y 8 niveles de los otros casos de árboles podados. Esto respondería al cambio de estrategias durante el juego, que obliga al modelo a generar reglas más complejas que en el caso de TEA. Es interesante observar el comportamiento de las digitaciones en el espacio (x, y) para TEA (fig. 11a), para NO-TEA13 (fig. 11b) y NO-TEA-15 (fig. 11c)

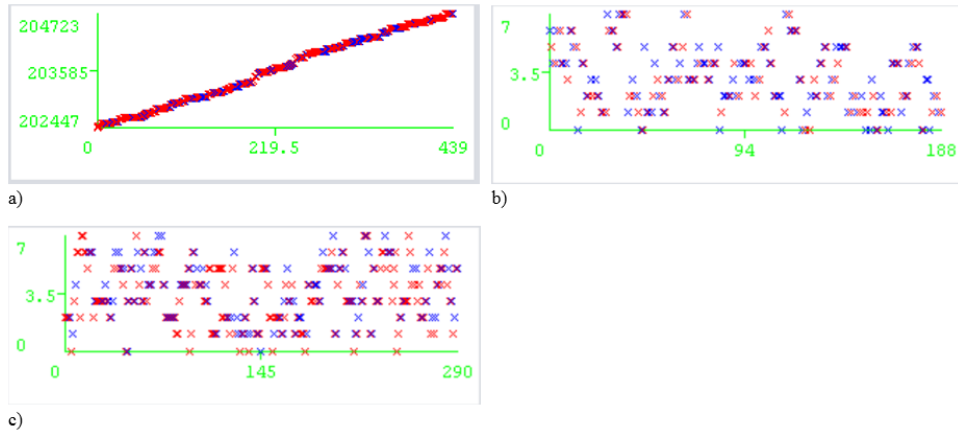


Fig. 1. Digitaciones

Como puede apreciarse, la digitación es marcadamente distinta con dos observaciones a priori. La primera es que TEA hace un manejo del espacio estructurado, mientras que los dos NO-TEA presentan mayor dispersión (abarcen toda la pantalla). La segunda, es que el cluster 0 (azul en cada caso), asociado a los errores, se acumulan más hacia ciertos valores en TEA, en contraste con NO-TEA. Es interesante ver que la métrica del modelo original ScoreResp no presenta diferencias relevantes entre TEA y NO-TEA13, NO-TEA15 (Fig. 12).

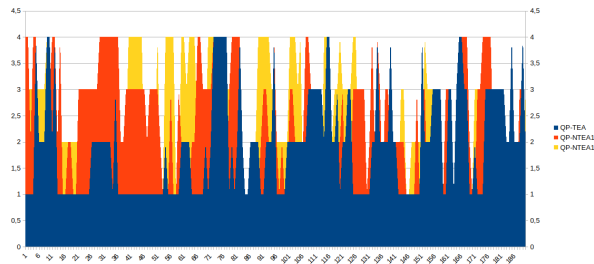


Fig. 1. Distribución de ScoreResp

Esto se confirma con los valores de la Tabla 4, donde se aprecia que las diferencias no son significativas.

Tabla 1. Valores ScoreResp

ScoreResp	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
MIN	30	30	30
MAX	80	90	80
PROM	34.42	35.23	35.35

ScoreResp	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
SD	9.65	12.15	11.45

Al respecto esto estaría indicando que ScoreResp no actúa como variable diferenciadora de la condición TEA. En cuanto a las otras variables del modelo original, se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 1. Valores de métricas

Variable	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
RT (True)	123	86	117
RT (False)	41	3	14
ST	7750	6670	7950
TTA	00h:22m:36s	00h:08m:34s	00h:12m:08s
TI	440	189	291
RT(True)/TTA (seg)	0.09	0.18	0.16
ST/TTA (seg)	5.72	12.98	11.98

Se puede observar que RT (True) y ST, son aparentemente similares, pero deben sopesarse en relación al tiempo total de juego (TTA) por eso se observa en RT (True)/TTA que sí existe una diferencia marcada entre TEA y NO-TEA13/NO-TEA15 (un orden de magnitud). En consecuencia, se puede decir que la métrica derivada RT/TTA es diferenciadora para TEA. Al comparar ST/TTA se confirma la misma tendencia, con lo que la métrica derivada ST/TTA también es diferenciadora de TEA.

Otro estudio interesante tiene que ver con el manejo de los movimientos del dispositivo durante el uso. El estudio de regresión lineal para las variables relacionadas con las celdas seleccionadas, movimientos y los puntos obtenidos (ValorX, ValorY, RT, SP respecto a ST) da resultados aparentemente similares para TEA, NO-TEA13 y NO-TEA15, como se ve en la Tabla 6.

Tabla 1. Correlación entre movimiento, selecciones y puntajes

Regresión lineal	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
Correlation coefficient	0.9375	0.905	0.9253
Mean absolute error	2.2024	4.2373	3.2804
Root mean squared error	5.7983	8.2309	7.0022
Relative absolute error	15.659 %	24.0783 %	19.4662 %
Root relative squared error	34.7689 %	42.277 %	37.8182 %
Total Number of Instances	440	189	291

Los resultados no muestran una diferencia apreciable. En cambio, los números cambian al estudiar estas mismas variables con Path Analysis, estudio que relaciona cómo las correlaciones inciden en cascada para determinar un valor [14]. Permite determinar los efectos indirectos de una variable por intermedio de una tercera variable. El estudio se realiza básicamente con énfasis en los sensores. Se toma como variable dependiente a ScoreResp, y como variables independientes (o intermediarias): valorY, valorX, Acel-ejex, Acel-ejey, Acel-ejez.

Las columnas Acel-ejex, Acel-ejey, Acel-ejez son los valores registrados en los ejes x, y, z, respectivamente del sensor acelerómetro; mientras que valorX y valorY son los lugares pulsados en pantalla (Ver Fig. 13).

Variable dependiente: ScoreResp: n=189			Variable dependiente: ScoreResp: n=440			Variable dependiente: ScoreResp: n=291		
Efecto	Via	Coefficientes p-valor	Efecto	Via	Coefficientes p-valor	Efecto	Via	Coefficientes p-valor
Acel eje x Directa		-0,92	ValorX Directa		-0,91	Acel eje x Directa		-0,88
Acel eje x Acel eje y		0,01	ValorX Acel eje x		5,2E-04	Acel eje x Acel eje y		-3,2E-03
Acel eje x Acel eje z		0,02	ValorX Acel eje y		-3,3E-03	Acel eje x Acel eje z		0,01
Acel eje x ValorX		-6,2E-05	ValorX Acel eje z		-0,01	Acel eje x ValorX		-0,01
Acel eje x ValorY		1,7E-04	ValorX Acel eje z		0,01	Acel eje x ValorY		1,2E-03
r total		0,02 0,8021	r total		-0,01 0,7891	r total		0,04 0,4829
Acel eje y Directa		-0,03	ValorY Directa		0,01	Acel eje y Directa		0,01
Acel eje y Acel eje x		-0,01	ValorY ValorX		-0,9E-04	Acel eje y Acel eje x		-0,02
Acel eje y Acel eje z		-1,1E-03	ValorY Acel eje x		0,02	Acel eje y Acel eje z		-0,02
Acel eje y ValorX		2,1E-04	ValorY Acel eje y		-4,8E-03	Acel eje y ValorX		3,7E-04
Acel eje y ValorY		-1,9E-04	ValorY Acel eje z		0,02	Acel eje y ValorY		-3,9E-03
r total		-0,02 0,7988	r total		0,01 0,8686	r total		-0,04 0,5159
Acel eje z Directa		0,03	Acel eje x Directa		0,07	Acel eje z Directa		-0,07
Acel eje z Acel eje x		-0,01	Acel eje x ValorX		5,3E-04	Acel eje z Acel eje x		-0,01
Acel eje z Acel eje y		0,2E-04	Acel eje x ValorY		-1,0E-03	Acel eje z Acel eje y		1,5E-03
Acel eje z ValorX		-9,1E-05	Acel eje x Acel eje y		0,02	Acel eje z ValorX		-0,2E-04
Acel eje z ValorY		2,1E-04	Acel eje x Acel eje z		-0,12	Acel eje z ValorY		0,01
r total		0,02 0,7460	r total		-0,02 0,6116	r total		-0,06 0,3102
ValorX Directa		-1,4E-03	Acel eje y Directa		-0,03	ValorX Directa		0,08
ValorX Acel eje x		-7,1E-04	Acel eje y ValorX		-2,5E-03	ValorX Acel eje x		-0,01
ValorX Acel eje y		3,9E-03	Acel eje y ValorY		1,1E-03	ValorX Acel eje y		2,7E-05
ValorX Acel eje z		1,9E-03	Acel eje y Acel eje x		-0,05	ValorX Acel eje z		6,9E-04
ValorX ValorY		-3,9E-04	Acel eje y Acel eje z		0,10	ValorX ValorY		-1,9E-03
r total		3,4E-03 0,9632	r total		0,02 0,6531	r total		0,07 0,2184
ValorY Directa		0,04	Acel eje z Directa		0,15	ValorY Directa		0,11
ValorY Acel eje x		-3,6E-04	Acel eje z ValorX		-7,1E-04	ValorY Acel eje x		5,1E-04
ValorY Acel eje y		6,6E-04	Acel eje z ValorY		1,2E-03	ValorY Acel eje y		-2,1E-04
ValorY Acel eje z		8,7E-04	Acel eje z Acel eje x		-0,06	ValorY Acel eje z		-0,01
ValorY ValorX		5,6E-05	Acel eje z Acel eje y		-0,02	ValorY ValorX		-1,3E-03
r total		0,01 0,8927	r total		0,07 0,1695	r total		0,10 0,6970

Fig. 1. Path analysis NO-TEA13, TEA y NO-TEA15 respectivamente

Los valores resaltados son los que más contribuyen a la correlación (r). En todos los casos se observa que el puntaje obtenido en las jugadas (ScoreResp) depende significativamente de las celdas seleccionadas (valorX, valorY), lo que es lógico ya que las mismas constituyen el medio de calificación de las respuestas. Pero los valores de los acelerómetros presentan un comportamiento diferenciados para TEA, ya que es el único caso en que ambos valores (x, y) de pantalla no juegan con los movimientos del equipo, pero en los otros dos casos sí existe una relación al menos con alguna de las dimensiones del sensor de movimiento. Esto indicaría una disociación entre la manipulación del dispositivo con su movimiento, el que resulta típicamente mayor pero no relacionado con las respuestas dadas, en el caso TEA. Por lo que se puede decir que el Path Analysis también dicta una dinámica diferenciada.

Finalmente, y a manera de resumen, se presenta la aplicación del modelo original, que resulta en los valores de NA, EE, B(u), B(d) de la Tabla 7.

Tabla 1. Resumen de parámetros del modelo histórico

Parámetro modelo	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
NA = <EE, ED, SE, NC, ZD, TTA>			
ED	10 años	13 años	15 años
SE	Masculino	Femenino	Femenino

Parámetro modelo	TEA	NO-TEA13	NO-TEA15
NC	Argentina	Argentina	Argentina
ZD	Diestro	Diestro	Diestro
TTA	00h:22m:36s	00h:08m:34s	00h:12m:08s
EE = B(U) + B(D)			
B(U) = <RT, ST, SP, RVA>			
RT	En log		
ST	7750	6670	7950
ScoreResp	En log		
RVA	No permitido por dispositivo		
B(D) = <CP, QP, PE, APE, TE, TI, TEI, VD, AS, MS>			
CP	No capturado aún		
QP	En log		
PE	No permitido por dispositivo		
APE	No permitido por dispositivo.		
TE	En log		
TI	440	189	291
TEI	No permitido por dispositivo.		
VD	No capturado aún		
AS	En log		
MS	En log		
RO	En log		

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las métricas propuestas en trabajos anteriores se han aplicado como estudio de un caso TEA en contraste con otros dos voluntarios sin dicho trastorno. Con las mismas, se han definido los modelos de desempeño de los voluntarios.

De los resultados obtenidos se pudo observar que existe una marcada diferencia en cuanto al comportamiento prototípico del modelo preexistente, y que otras variables propias de la propuesta actual son más específicas en aspectos complementarios.

Los agrupamientos naturales de datos, en cuanto a tiempos e interacciones de pantalla muestran una marcada diferencia para TEA, que podría ser un signo de la dificultad hallada por el paciente, en contraste con los otros casos que, acorde al modelo planteado por [9] indicaría un juego más relajado.

Otras variables se introducen por primera vez con este estudio. Entre ellas RT con valor Repite es desproporcionadamente alto para TEA. Correspondería a los movimientos estereotipados repetitivos sobre el mismo ícono; propias de este trastorno. Asimismo, NotAdj, tiene valores muy altos, y representa jugadas sin coherencia (aso-

ciación de íconos no adyacentes, en contra de las reglas del juego). Aparentemente el TEA no logra asociar el concepto de adyacencia. Esta diferenciación se confirma en la métrica QP-TEA, del modelo [9], cuyo promedio es notablemente distinto a los casos NO-TEA.

Otros hallazgos se encuentran en el modelo derivado de las estrategias de juego, donde se puede observar que el árbol TEA es, llamativamente más homogéneo, simple y balanceado (mucho más simple que sus contrapartes).

En cuanto a la digitación, el presente trabajo extiende el modelo de referencia en [9] y logra detectar dos comportamientos específicos en la digitación. El primero es que TEA hace un manejo estructurado y acotado del espacio de marcación; mientras que los dos NO-TEA presentan mayor dispersión (abarcen toda la pantalla). En segundo lugar, los errores se acumulan más específicamente en cierto espacio para TEA, en franco contraste con NO-TEA. Se halla que uno de los parámetros trabajados para casos de personas sin TEA, ScoreResp, no actúa como variable diferenciadora de la condición TEA.

En cuanto a RT (Tipo de interacción) y ST (Puntuación total alcanzada), son aparentemente similares; en relación al tiempo total de juego (TTA) se observa que existe una diferencia muy marcada entre TEA y NO-TEA13/NO-TEA15. En consecuencia, se puede decir que son métricas que deben adaptarse de esta manera (RT/TTA y ST/TTA) para ser diferenciadoras de TEA.

Se han detectado que los valores de sensores de movimiento espacial también dictan una dinámica diferenciada, siendo también nuevos parámetros a incorporar. Resta considerar parámetros que han quedado sin estudiar por cuestiones de disponibilidad durante los test. Adicionalmente se debe analizar en una etapa futura, el cambio de los emoticones por caracteres reales y evaluar el impacto en el aprendizaje de los pacientes TEA. También se procurarán medir parámetros adicionales factibles en otros tipos de dispositivos.

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. Tomado el 22 de mayo de 2020. www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders. Nov, 2019.
2. Autistic children at play: Injecting fun into research and clinical paradigms. Vigentini L. *Journal of Autism and Developmental Disorders* 38(7):1382-90 · DOI: 10.1007/s10803-007-0396-y.2007.
3. Autism and new media: Disability between technology and society. Pinchevski A., Durham Peters J. Sage Publications. 2015.
4. Conducta verbal. Sundberg M., Michael L., Partington J., Sundberg W., Cindy A. Editorial Trillas. 1996. Vargas Ligarreto D., López De Luise D. IEEE URUCON. 2019.
5. A Review for Future Research and Practice in Using Computer Assisted Instruction on Vocabulary Learning Among Children with Autism Spectrum Disorder. Adawiah Dzulkipli M., Feni Abdul E., Wahab A., Rahman A. 6th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World, 2016.
6. iCanLearn: A Mobile Application for Creating Flashcards and Social Stories™ for Children with Autism. Zafke A., Jain N., Johnson N. ICOST 2014 Advances in Cognitive Technologies. DOI: 10.1007/978-3-319-14424-5_25. 2014.

7. PICTOAPRENDE: Aplicación que contribuye a la autonomía personal de niños y jóvenes con Trastorno del Espectro Autista en Ecuador. Cárdenas A., Segovia E., Tobar J., De la Cruz D., Mejía P., Paredes N..XLI Latin American Computing Conference (CLEI). 2015.
8. eMot-iCan: Design of an Assessment Game for Emotion Recognition in Players with Autism. Sturm, D. Peppe E., Ploog B..IEEEExplore. DOI: 10.1109/SeGAH.2016.7586228. 2016.
9. Diseño de Métricas Derivadas de Teclado y Mouse para la Medición del Nivel de Aprendizaje.
10. Specialized intervention using tablet devices for communication deficits in children with autism spectrum disorders. Monisha S., Santhanalakshmi S., Subramani K.. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2018.
11. Parametrización de la conducta del usuario de Video-Juegos. Silva F., López De Luise D. CIITI. 2019.
12. Mixed Emotions: Facial Emotion Recognition for People with Autistic Spectrum Condition. Channer M. Neurosciences & Behavioral Reviews. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.016. 2016.
13. Gamificar una propuesta docente: diseñando experiencias positivas de aprendizaje. Gallego, Francisco J, Molina Rafael y Llorens Faraón. XX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática. 2014.
14. InfoStat. Software Estadístico. Di Rienzo J. Manual del Usuario, Editorial Brujas. 2008.