



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

COORDINACIÓN GENERAL ACADÉMICA

Coordinación de Bibliotecas

Biblioteca Digital

La presente tesis es publicada a texto completo en virtud de que el autor ha dado su autorización por escrito para la incorporación del documento a la Biblioteca Digital y al Repositorio Institucional de la Universidad de Guadalajara, esto sin sufrir menoscabo sobre sus derechos como autor de la obra y los usos que posteriormente quiera darle a la misma.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

DIVISIÓN DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN



Interfaz computacional 'IGTask-Es' para la aplicación en español de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task.

Modalidad

Tesis, Tesina e Informes

Opción

Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

Ingeniero Biomédico

P R E S E N T A
MANUEL CHÁVEZ SÁNCHEZ

Directora:

Dra. Lucía Ester Rizo Martínez

Co-director:

Dr. Ricardo Antonio Salido Ruiz

Guadalajara, Jalisco, Junio 2021.

[OFICIO DE ACEPTACIÓN DE MODALIDAD Y TITULACIÓN]



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

DICTAMEN DE EVALUACION DE
MODALIDAD Y TRABAJO DE TITULACIÓN

OFICIO INBI/CT/56/2020

En reunión ordinaria celebrada por el Comité de Titulación, se evaluó la Solicitud No.20/48 presentada por la egresada: **MANUEL CHÁVEZ SÁNCHEZ (217291394)**

Quien propone titularse con la Modalidad: **TESIS, TESINA E INFORMES**

Opción: **TESIS**

Con el trabajo titulado: **INTERFAZ COMPUTACIONAL 'IGTask-Es' PARA LA APLICACIÓN EN ESPAÑOL DE LA PRUEBA NEUROPSICOLÓGICA IOWA GAMBLING TASK**


De conformidad con el Artículo 14, Fracción I del Reglamento General de Titulación de la Universidad de Guadalajara y del Artículo 13, Fracción I del Reglamento de Titulación del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías; y en virtud del cumplimiento de los requisitos indicados por este Comité, dicha propuesta ha sido considerada:

APROBADA

Ha sido designado como presidente de titulación la **Dra. Lucia Ester Rizo Martínez**, como secretario el **Dr. Ricardo Antonio Salido Ruiz** y como vocal el **Dr. Israel Román Godínez** quienes darán seguimiento y asesoría a su proceso de titulación. El Comité de Titulación ha establecido que la fecha límite para su titulación es en diciembre 2021.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
Guadalajara, Jal., 16 de diciembre de 2020.




Ing. Eduardo Méndez Palos
Presidente del Comité de Titulación

[COMPROBANTE ACADÉMICO]



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

Comprobante Académico

El Comité de Titulación de la Carrera de Licenciatura en Ingeniería Biomédica, hace constar que el estudiante:

MANUEL CHÁVEZ SÁNCHEZ Código **217291394** Folio **20/48**

Egresado del plan semestral en sistema de créditos, ha cumplido con los requisitos académicos que le dan derecho a solicitar ceremonia de titulación. La modalidad y opción que le han sido aprobadas, se indica en la siguiente tabla:

Artículo 9. Desempeño Académico Sobresaliente		I.-Excelencia Académica
		II.- Titulación por Promedio
Artículo 10. Exámenes		II.- Examen Global Teórico
		III.- Examen General de Certificación Profesional (Ceneval)
		IV.- Examen de Capacitación Profesional (Certificación)
Artículo 11. Producción de Materiales Educativos		I. Guías Comentadas o Ilustradas
		III. -Seminario de Investigación
Artículo 12. Investigación y Estudios de Posgrado		V. -Diseño o Rediseño de Equipo, Aparato o Maquinaria
Artículo 14. Tesis, Tesina e Informes	x	I.- Tesis
		III.- Informe de Prácticas Profesionales

Y han sido designados los Profesores el Dra. Lucia Ester Rizo Martínez el Dr. Ricardo Antonio Salido Ruiz y el Dr. Israel Román Godínez Castillo como:

Presidente, Secretario y Vocal del jurado respectivamente.

Miembros del Comité para realizar la ceremonia.

Atentamente

"PIENSA Y TRABAJA"

"Año del Legado de Fray Antonio Alcalde en Guadalajara"

Guadalajara, Jalisco a 28 de mayo de 2021.



COMITÉ DE TITULACIÓN
INGENIERÍA BIOMÉDICA

Ing. Eduardo Méndez Palos
Presidente del Comité de Titulación
de la carrera de Ingeniería Biomédica

Bld. Marcelino García Barragán #1421, esq Calzada Olímpica, C.P. 44430.
Guadalajara, Jalisco. México. Tels. [+52] (33) 1378 5900. Ext. 27730
www.cucei.udg.mx

[CARTA DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DEL TRABAJO POR PARTE DEL ASESOR]



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

FORMATO 04

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Guadalajara, Jalisco a día de mes de año

PRESENTE.

Por este conducto se hace de su conocimiento que el trabajo de titulación denominado:

"INTERFAZ COMPUTACIONAL 'IGTask-Es' PARA LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA NEUROPSICOLÓGICA IOWA GAMBLING TASK"

que fue aprobado por ustedes mediante el Folio No. 20/48 con la modalidad TESIS, TESINA E INFORMES ha sido concluido, bajo la dirección de: LA DRA. LUCÍA ESTER RIZO MARTÍNEZ.

El que suscribe éste documento, **Manuel Chávez Sánchez**, declaro que el trabajo es de autoría propia y no ha sido presentado total ni parcialmente en ningún otro lugar. Que, además, no contiene material que pertenezca a otra persona, con excepción de lo que ha sido debidamente citado o referenciado según los estándares de cada disciplina.

Manuel Chávez Sánchez

Manuel Chávez Sánchez
Nombre y Firma del Pasante

El jurado de titulación certifica que se ha revisado tanto el formato como el contenido de éste trabajo. Por lo anterior, autorizamos la impresión de éste documento para su defensa, de conformidad con lo estipulado en los capítulos V y VI y artículos 23 y 24 del Reglamento General de Titulación de la Universidad de Guadalajara, así como en el capítulo V, artículos 23 y 24 del Reglamento de Titulación del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.

Lucia Ester Rizo Martinez

Dra. Lucía Ester Rizo Martínez
Nombre y Firma del Presidente del Jurado

Ricardo A Salido R

Dr. Ricardo Antonio Salido Ruiz
Nombre y Firma del Secretario del Jurado

Israel Román Godínez

Dr. Israel Román Godínez
Nombre y Firma del Vocal del Jurado

UTILICE ESTA FORMA HASTA QUE EL TRABAJO SEA CONCLUIDO Y REVISADO POR EL JURADO DE TITULACIÓN

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE ECUACIONES	6
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Hipótesis	12
1.3 Objetivo General	12
1.4 Objetivos Específicos	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Marco Neuropsicológico	13
2.1.1 Historia de la Neuropsicología	14
2.1.2 Toma de decisiones	18
2.1.3 Marcador somático	21
2.1.4 Refuerzo y Castigo	23
2.1.5 Introducción a las pruebas neuropsicológicas	26
2.1.6 Iowa Gambling Task	28
2.2 Marco Computacional	32
2.2.1 Interfaz	32
2.2.2 Diagrama de Flujo	35
2.2.3 La aleatoriedad	37
2.2.4 Generadores de Números Aleatorios	40
2.2.5 Generador Mersenne Twister	44

2.3	Marco Estadístico	47
2.3.1	Variable Aleatoria	47
2.3.2	Distribución de Probabilidad Normal Continua	48
2.3.3	Estudio ANOVA	52
2.3.4	Prueba T (T- Test)	57
2.3.5	Prueba de Wilcoxon	61
III.	ESTADO DEL ARTE	66
3.1	Prueba IGT, diversas versiones y aplicaciones	67
3.2	Pruebas Neuropsicológicas Computarizadas	73
3.2.1.1	Wisconsin Card Sorting Test (WCST)	74
3.2.1.2	Torre de Londres	75
3.2.1.3	Torres de Hanoi (HANOI-PC3)	75
3.2.1.4	Iowa Gambling Task (IGT-Open)	76
IV.	MARCO METODOLÓGICO	78
4.1	Creación de la Interfaz Computacional	78
4.1.1	Descripción general	78
4.1.2	Ventana principal	80
4.1.3	Ventana de configuración	81
4.1.4	Ventana de instrucciones	84
4.1.5	Ventana de la prueba IGT	84
4.1.6	Ventana de resultados	87
4.2	Implementación experimental de la prueba	90
V.	RESULTADOS	93
5.1	Presentación de la Interfaz Computacional	94
5.1.1	Ventana principal	94
5.1.2	Ventana de Configuración	95
5.1.3	Ventana de instrucciones	97
5.1.4	Ventana de la prueba IGT	98
5.1.5	Ventana de resultados	99
	Muestra Individual	100
	Muestra Poblacional	103

5.2	Análisis de resultados	107
VI.	CONCLUSIONES	117
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
VIII.	ANEXOS	128
8.1	Tabla de valores críticos (prueba T)	128
8.2	Tabla de valores críticos (prueba de Wilcoxon)	130
8.3	Consentimiento Informado	133
8.4	Manual de Usuario de la Interfaz	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del Condicionamiento Operante	25
Figura 2: Representación gráfica de la prueba IGT	29
Figura 3: Ejemplo de Diagrama de Flujo	36
Figura 4: Ilusión Müller-Lyer	39
Figura 5: Diagrama de funcionamiento básico de un dispositivo computacional.....	41
Figura 6: Esquema básico del PRNG	45
Figura 7: Esquema ilustrativo del generador MT	46
Figura 8: Curva de distribución Normal	50
Figura 9: Curvas de distribución Normal, donde $\mu_1 < \mu_2$	51
Figura 10: Sentencia final del ANOVA, entre FCALC y FCRIT	56
Figura 11: Descripción del proceso de una prueba T, para variables no independientes .	61
Figura 12: Campos Editables de la Ventana Principal	80
Figura 13: Diagrama de descripción de la Ventana Principal.....	81
Figura 14: Sección de establecimiento de mazos y ganancias netas	82
Figura 15: Panel para establecer el sonido de retroalimentación en la ventana de Configuración.....	83
Figura 16: Flujo de datos entre ventanas	84
Figura 17: Ventana Principal de la Interfaz Gráfica IGTtask-Es.....	94
Figura 18: Ventana de Configuración de la IGTtask-Es.....	96
Figura 19: Ventana de Instrucciones de la IGTtask-Es.....	97
Figura 20: Ventana para la aplicación de la prueba IGT, de la interfaz IGTtask-Es.....	98
Figura 21: Ventana de Resultados de la interfaz IGTtask-Es	100
Figura 22: Histograma del total de elecciones (datos no significativos) de la interfaz IGTtask-Es.....	101
Figura 23: Comparación entre elecciones de ventaja y desventaja (votos no significativos)	101
Figura 24: Muestra del total de créditos acumulados (datos no significativos).....	102
Figura 25: Cadencia temporal, se muestra el tiempo que tarda el participante en tomar cada decisión (datos no significativos).	103
Figura 26: Historial histográfico del tiempo registrado por cada participante (datos no significativos).....	103
Figura 27: Tendencias de elección en el estudio poblacional (datos no significativos) ...	104
Figura 28: Comparación de elecciones de ventaja por cuartiles (datos no significativos)	105

Figura 29: Densidad de tiempo del estudio poblacional (datos no significativos).....	105
Figura 30: Tabulación del estudio ANOVA, mediante la interfaz IGTask-Es.....	106
Figura 31: Tabulación de la prueba de Wilcoxon, mediante la interfaz IGTask-Es.....	107
Figura 32: Tabulación de la prueba T, mediante la interfaz IGTask-Es.....	107
Figura 33: Resultados (sujeto 02). Sobre el total de elecciones realizadas	108
Figura 34: Resultados poblacionales sobre el total de elecciones realizadas.....	109
Figura 35: Resultados individuales (sujeto 11). Se muestra la comparación entre los tipos de elecciones	109
Figura 36: Resultados individuales (sujeto 07), analizando la comparación entre tipos de elecciones	110
Figura 37: Resultado poblacionales, analizando la comparación entre tipos de elecciones	111
Figura 38: Resultados individuales (sujeto 017), se analiza el total de créditos acumulados en cada instante de la prueba.	111
Figura 39: Resultados individuales (sujeto 22). Se analiza la muestra temporal en función del no. de elección.	112
Figura 40: Resultados individuales (sujeto 26). Se analiza la muestra temporal de forma histográfica, mostrando la densidad de los puntos muestreados.....	113
Figura 41: Resultados poblacionales, donde se muestra de forma histográfica los puntos temporales del grupo analizado	113
Figura 42: Análisis de varianza (ANOVA) poblacional. A la izquierda: ANOVA para el muestreo cuantitativo de las elecciones de ventaja. A la derecha: ANOVA para las elecciones de desventaja	114
Figura 43: Análisis ANOVA poblacional por cuartiles. Se demuestra la separación cuantitativa del número de elecciones de ventaja, sobre las de desventaja	115

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación II-1 Ecuación de Recurrencia para el Método Congruencial Lineal (LCM).	42
Ecuación II-2 Ecuación de Recurrencia para el Método de Cuadrada Media (MSM).....	42
Ecuación II-3: Cálculo de probabilidades continuas.....	49
Ecuación II-4: Densidad de probabilidad de la variable aleatoria continua	50
Ecuación II-5: Ecuación SCR, para el ANOVA	53
Ecuación II-6: Ecuación SCE, para el ANOVA	53
Ecuación II-7: Ecuación SCT, para el ANOVA.....	53
Ecuación II-8: Ecuación SCT, ejemplificada	54
Ecuación II-9: Ecuación CMR, para el ANOVA.....	55
Ecuación II-10: Ecuación CME, para el ANOVA.....	55
Ecuación II-11 Ecuación para el cálculo del valor crítico (F), para el ANOVA.....	56
Ecuación II-12: Cálculo del valor T, para la prueba T	59
Ecuación II-13: Cálculo de R, cuando existen muestras repetidas	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestra de datos, para el estudio ANOVA	54
Tabla 2: Tabulación de los datos para el estudio ANOVA	57
Tabla 3: Muestra para el análisis de la prueba de Wilcoxon (datos no significativos)	63
Tabla 4: Muestra con las diferencias y rangos determinados, para la prueba de Wilcoxon	64
Tabla 5: Tabla de distribución de elecciones	89

RESUMEN

La presente investigación representa una propuesta de interfaz computarizada, para la aplicación en español de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task (IGT) la cual, a partir de una serie de retos en formato de juego de azar, involucra la capacidad de toma de decisiones. El objetivo de este estudio es brindar una nueva herramienta a los clínicos e investigadores interesados en estudiar procesos cognitivos y ejecutivos tales como la toma de decisiones. La creación de esta interfaz, denominada "IGTask-Es", parte de la necesidad de ampliar el catálogo de pruebas computarizadas en el área de la neuropsicología, en especial para la comunidad hispanohablante. La prueba se exhibe como un juego de apuestas (gambling). Está compuesta por cuatro mazos (cartas, conjuntos) equidistantes, del mismo color, forma y tamaño entre sí. El participante, al que previamente se le otorga una cantidad de créditos que le servirán como moneda virtual, tiene la oportunidad de elegir uno entre cualquiera de los cuatro mazos. Realizada la elección, la prueba (el programa) determinará si el participante pierde o gana créditos, para añadirlos a su banco total. De esta forma, cada elección realizada ocasiona una retroalimentación positiva o negativa hacia el usuario, que le hará sumergirse en la estrategia ficticia en que la prueba se cimenta.

Usando el entorno de desarrollo *App Designer* proporcionado por MATLAB®, se expone el diseño y programación del algoritmo computacional para la aplicación de la prueba IGT, por medio de la interfaz computacional "IGTask-Es" propuesta en este estudio. Asimismo, se realizó una implementación experimental de la prueba en la cual se examinó un total 31 sujetos ($m = 22.9 \pm 2.94$), 16 mujeres y 15 hombres, de escolaridad predominante de nivel licenciatura, a los cuales se les aplicó la prueba neuropsicológica IGT por medio de la interfaz IGTask-Es. Los resultados muestran una tendencia general de los participantes en tomar decisiones cada vez más ventajosas; asimismo, en este estudio se presenta un análisis exhaustivo por cada componente de la prueba. Se concluye que la interfaz IGTask-Es es una herramienta eficaz y valiosa en la aplicación en español de la prueba neuropsicológica IGT en personas hispanohablantes.

DEDICATORIA

A Dios Padre, Creador y Principio de todas las Ciencias.

A mi familia entera: abuelos, tíos, primos y hermanos, especialmente a mi madre y a mi padre, de feliz memoria.

A todas y cada una de las personas que participaron directa o indirectamente de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Desde que tengo uso de razón, la ciencia y el saber han sido cosas importantes dentro de mi vida y, si tengo que señalar a los impulsores de esta proposición serían mis padres. Gracias a mi padre, de feliz memoria, que durante mi infancia nos inculcó a mi y a mis hermanos el valor del saber y del estudio. De la misma forma, agradezco a mi madre, que estuvo apoyándome y fortaleciéndome en mi proceso académico, y que creyó en mí.

Agradezco también a mi familia entera. Abuelos, tíos, primos, sobrinos, y hermanos, que siempre se han encargado de hacernos esta vida más fácil los unos a los otros, con la confianza y cercanía que nos caracterizan.

Agradezco a mi Alma Máter, la Universidad de Guadalajara, que por medio de sus instalaciones, profesores y administrativos, he reconocido la repercusión de la ciencia y el desarrollo tecnológico en la sociedad y en el mundo entero.

Agradezco también a mis directores de Tesis, la Dra. Lucía Ester Rizo y el Dr. Ricardo Salido que me acompañaron en el cumplimiento y construcción del método científico en esta investigación. Agradezco también al Dr. Israel Román que participó como vocal de Tesis.

Agradezco finalmente, a mis compañeros y amigos que participaron en la experimentación de esta investigación. Sin ustedes este trabajo estaría inconcluso.

I. INTRODUCCIÓN

Según el autor Rufo-Campos (2006), la Neuropsicología actual se cimienta en dos columnas, que son básicas y que tienen una dependencia entre sí que las hace ser imprescindibles: 1) Los métodos experimentales y la observación clínica; y 2) las nuevas técnicas de diagnóstico por imagenología encefálica, aunadas a las ciencias cognitivas. Este conjunto de herramientas nos permite realizar esquemas mucho más completos de funcionamiento y rehabilitación de las funciones que se encuentran dañadas, en deterioro o pérdidas en el individuo. Dentro de los métodos experimentales utilizados se encuentran las pruebas neuropsicológicas que, puestas bajo las condiciones recomendadas han significado un punto crucial en la investigación del comportamiento humano. Sabemos bien que el proceso de evaluación neuropsicológica en un paciente depende en gran medida de la fiabilidad y validez de la aplicación de este tipo de pruebas (Spreeen, 1998), por lo que en este tiempo, la transición al terreno computacional resulta necesaria.

En este sentido surgen importantes desafíos. Por un lado, existe el reto de la mudanza del método experimental, el cual se fundamenta en la respuesta del sujeto a estímulos muchas veces físicos: cartas, formas, objetos. Los cuales, se ven transformados en figuras virtuales a las que el participante puede tener acceso mediante un dispositivo periférico (ratón, teclado, palanca, etc.). Y, por otro lado, existe también el desafío de que ambas pruebas, la física y la computarizada, sean totalmente equiparables; en otras palabras, los resultados deberán coincidir en su gran mayoría por no decir que, en su totalidad, ya que sustancialmente el sujeto se verá expuesto ante los mismos estímulos (auditivos y/o visuales), por lo que su comportamiento no se debería ver afectado (Edwards, 1954). Más adelante, nos centramos en los retos que implica esta mudanza metodológica.

El presente estudio se enmarca en dos contextos teóricos fundamentales: Realizar un análisis neuropsicológico, la historia que enmarca a esta rama científica, los retos y posiciones que han tenido sus exponentes, así como la revisión de las distintas herramientas de análisis, que ayudaron y ayudan a la comunidad científica a conocer el comportamiento humano. Por otra parte, se presenta un análisis computacional y estadístico para la realización de una interfaz gráfica que colabore en la aplicación de una prueba neuropsicológica; examinar el comportamiento de la prueba bajo el contexto real y físico en el que fue creada, revisar por medio de diagramas y esquemas metodológicos la reproducción más acertada posible de la prueba neuropsicológica; y finalmente, se detallará

el proceso por el que se exploran las muestras tomadas. Es decir, se presentan los resultados de la aplicación de la prueba a una cantidad determinada de sujetos evaluados.

1.1 Planteamiento del problema

En el estudio del comportamiento humano y, en particular de los procesos cognitivos, se ha propuesto un amplio catálogo de pruebas neuropsicológicas (Spreen, 1998) reconociéndose su validez y exactitud, así como su aplicabilidad en diversos contextos (Buelow & Suhr, 2009; Evens et al., 2016). Sin embargo, actualmente aún existe la necesidad de contar con versiones computacionales acordes con las nuevas tecnologías (Dancy & Ritter, 2017) lo cual aportaría múltiples beneficios, tales como aumentar la facilidad de aplicación, una mayor exactitud en los datos obtenidos, mayor viabilidad para la realización de estadísticas y análisis de resultados, entre otros.

En el intento de llevar a cabo esta labor, existen diversas investigaciones que han ensayado el manejo de pruebas computarizadas en diversos ambientes; sin embargo, se han encontrado diversos elementos que ponen en duda la similitud, la precisión y la efectividad de estas respecto a la aplicación de la prueba origen (original), que comúnmente se realiza en físico. Asimismo, la mayoría de las pruebas neuropsicológicas son creadas en idioma inglés, por lo cual otro problema latente es su aplicabilidad a la comunidad hispanohablante. Con base en lo anterior, es necesario realizar versiones de pruebas neuropsicológicas computarizadas que brinden, por un lado, una versión computarizada realmente similar a la versión original en físico y, por otro lado, que el lenguaje utilizado sea entendible y acorde a la comunidad a la cual se aplica, sin que esto implique alteraciones con respecto a la prueba original.

Las pruebas neuropsicológicas son de gran importancia en el ambiente neurocientífico, en la tarea de validación y reconocimiento de habilidades cognitivas del individuo o grupo de estudio; por lo que esta investigación tiene como objetivo desarrollar una interfaz gráfica computarizada que sirva como herramienta en idioma español para la aplicación de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task, evaluadora de la toma de decisiones.

1.2 Hipótesis

La interfaz computacional 'IGTask_Es' será una herramienta del idioma español útil y práctica como una versión de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task, evaluadora de la toma de decisiones.

1.3 Objetivo General

- Desarrollar una interfaz gráfica computarizada que sirva como herramienta en idioma español para la aplicación de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task, evaluadora de la toma de decisiones.

1.4 Objetivos Específicos

- Analizar las bases teóricas encontradas sobre la prueba Iowa Gambling Task y la capacidad cognitiva de tomar decisiones.
- A partir del entorno de desarrollo *App Designer* de MATLAB®, diseñar las ventanas virtuales, para la aplicación de la prueba IGT.
- Crear un diagrama de flujo, que permita apreciar el comportamiento del programa diseñado y analizar su semejanza con la aplicación de la prueba real.
- Crear un entorno de visualización de resultados, que permita al aplicador realizar análisis estadístico rápido de la prueba aplicada.
- Aplicar la interfaz a un grupo de participantes para verificar su efectividad.
- Comparar los resultados con estudios previamente realizados, para reconocer la validez y aproximación del diseño realizado a la prueba original.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado se exponen las consideraciones teóricas sobre las cuales se basan la investigación, la creación de interfaz computacional y la interpretación de los resultados de esta investigación. El desarrollo de este marco se centra en tres apartados: 1) el saber neuropsicológico que ha llevado a la creación de distintas pruebas y sus diversas aplicaciones; 2) el antecedente computacional sobre el que se crea el algoritmo que replicará de manera virtual la prueba neuropsicológica IGT; y 3) el proceso estadístico y matemático sobre el que se basan el desarrollo de la interfaz gráfica y la interpretación de resultados. De igual forma, se destacan diversas publicaciones que son preámbulo a la experimentación sobre la toma de decisiones.

2.1 Marco Neuropsicológico

En el marco de esta investigación, se ha realizado una búsqueda de los procesos neuropsicológicos mediante los cuales se han desarrollado herramientas para la identificación de anomalías o perturbaciones en la cognición humana. A través de los años, una gran cantidad de pensadores de diversas áreas, como la filosofía, la medicina, la psicología, psiquiatría y hasta la teología, han pretendido indagar en el origen del pensamiento humano: ¿cómo es que pensamos? ¿de dónde provienen nuestros pensamientos? ¿Qué representa la cognición, como medio de comunicación entre el cuerpo-mente y aquello que nos rodea?

En este apartado, se busca que el lector profundice en los conceptos principales relacionados con la cognición humana y su evaluación. De manera que pueda comprender de forma fácil y práctica el objetivo neuroanalítico que se desarrollará en este estudio.

Aunado a esto, se reconocerá el trabajo de diversos investigadores que han planteado algunas teorías sobre la construcción del pensamiento humano. Se describirá el concepto de “toma de decisiones” como una habilidad de la cognición, la forma en la que esta se mide, como ha evolucionado y las ventajas que nos ha traído como especie civilizada.

Dentro de este marco, se explorará sistemáticamente la fisiología del cerebro, sus partes esenciales y aquellas que serán de nuestro interés principal en la investigación. Se abordarán conceptos y teorías sobre cómo estas partes se comunican para la percepción de los estímulos.

De igual forma se examinarán diversos conceptos del área psicológica: refuerzo y castigo, así como la toma de decisiones. De igual manera, en el área de las neurociencias, se abordará la teoría del marcador somático, la cual pretende ser la base teórica que asevere la efectividad de la prueba Iowa Gambling Task (IGT).

Finalmente se describe la prueba neuropsicológica de nuestro interés, la IGT. Se explorará sus historia, objetivos principales y conjeturas que la hacen ser reconocida ante la comunidad científica como una buena herramienta de estudio neuropsicológico.

2.1.1 Historia de la Neuropsicología

Desde los siglos XIX y XX se reportan los primeros indicios de una nueva rama del conocimiento científico, que procede de la neurología clásica y ha realizado aportaciones tanto al área psicológica como al ramo de la neurociencia. Esta es denominada como Neuropsicología.

El concepto como tal es relativamente nuevo; sin embargo, desde la era Romana, grandes pensadores ya hacían discusiones sobre el papel del cerebro en el comportamiento humano. En la antigua Grecia (Finger, 2013), las opiniones acerca del cerebro y sus funciones se encontraban lejos de ser uniformes. Aristóteles (384 – 322 a. C.) creía que el corazón era quien controlaba en absoluto las funciones sensoriales, cognitivas y superiores relacionadas al comportamiento humano, considerado que el cerebro tenía la función de “templar el calor y el furor” el corazón. Esta idea no era nueva (Gross, 1995), ya que muchas culturas anteriores al Imperio Griego hablaron de ella, como los Egipcios, los Babilonios o la civilización India (Sigerist, 1951). Por otra parte, Demócrito (460 – 370 a. C.) y Platón (429 – 348 a. C.) discurrían que las funciones intelectuales o racionales del individuo pertenecían a la cabeza, posicionándola como centro y cumbre del cuerpo humano (Finger, 2013).

A pesar de la gran influencia que tuvo Aristóteles en el pensamiento de su era, la mayoría de los intelectuales de su tiempo optaron por la creencia de que la razón y el comportamiento del hombre se situaban más bien en la cabeza, particularmente en el cerebro, con excepción de las pasiones y los deseos, las cuales se asociaban al hígado y al corazón, desde un punto de vista filosófico-espiritual.

Platón, por su parte, describió en su obra ‘Fedón’:

“Si el elemento por medio del cual pensamos es la sangre o el aire o el fuego (el alma) o nada de eso, sino que es el cerebro (Εγκέφαλος) el que transmite sensaciones como oír, ver y oler, para que la memoria y la opinión se produzcan y, una vez asentadas firmemente (en nuestra mente), el conocimiento se genere de esta manera” (Meinwald, C. C., & Bostock, 1989).

Este pasaje resulta de particular interés porque plantea la pregunta ¿qué hay en nosotros que piensa de manera correcta y concisa? Proporciona la explicación correcta en lo que concierne al cerebro, como lugar donde se generan y establecen los pensamientos humanos (Crivellato & Ribatti, 2007). En conclusión, se establece sustancialmente al cerebro; que recibe las sensaciones y las elabora, produce la memoria el juicio y finalmente, como cumbre del proceso mental, el conocimiento.

Algunos siglos después se presentó un personaje que fue la mayor figura médica (130 – 200 d. C.) de su era, su nombre fue Galeno. Nacido en Pérgamo (Rocca, 2003), cuyo padre era un gran arquitecto. Originalmente y desde su juventud, la fascinación primordial de Galeno era la filosofía, no obstante, a la edad de 18 años, su padre decidió incorporarlo a los estudios médicos de aquella época. Sus enseñanzas se vieron enmarcadas por cuatro de las escuelas filosóficas más importantes: estoica, aristotélica, académica y epicúrea. Sus trabajos sobre medicina ahondan en diversos temas: realizó escritos acerca del humor humano, el cual se consideraba como causa de la enfermedad (Stelmack & Stalikas, 1991), detalló con esmero la separación del encéfalo en ventrículos (Finger, 2013), y cómo estos se encargaban de distintas funciones; tanto cognitivas como de la conducta humana. Dispuso el área cerebelar como la encargada de las funciones motoras del individuo, enlistó a la imaginación, la razón y la memoria como los componentes básicos del intelecto, y sugirió que estas podían ser afectadas de forma independiente cuando ocurriese daño cerebral en el sujeto.

Los trabajos de Galeno influyeron de una forma radical en el pensamiento de aquella época, hasta el punto en que sus investigaciones llegaron a manos de la Iglesia. Los Padres de la Iglesia, obispos y autoridades eclesiásticas que en aquel tiempo tenían un amplio conocimiento de las ciencias en general y disponían de acceso a las fuentes más importantes de información, como las bibliotecas, manuscritos, o documentos originales de pensadores importantes, desarrollaron gran parte de la teología cristiana partiendo del trabajo de pensadores como Galeno.

La Iglesia entonces, determinó que las tres funciones básicas (imaginación, razón y memoria) pertenecían al alma racional, la cual se encuentra localizada en diversos ventrículos del cerebro. Esto resulta particularmente interesante en la historia de la separación ventricular, ya que la Iglesia, siendo la institución máxima de conocimiento, historia e información de la época, daba un gran preámbulo de apoyar a la localización del saber humano en el cerebro, así como el reconocimiento de que este órgano humano tan importante se componía de diversas partes. Esta característica, ayudó a los pensadores de la época, a trazar lazos de unión entre la teología y la ciencia de la época, lo cual era de vital importancia para continuar desarrollando esta rama científica.

Un gran ejemplo del estudio por parte de la Iglesia sobre la teoría ventricular de la época fue Nemesio (c. 390), obispo de Emesia, el cual es autor del tratado *De Natura Homins* (“sobre la naturaleza humana”) en que el habla del punto de vista cristiano sobre el sistema antropológico que rige a la razón humana. En él, localiza la percepción sensorial y la formación de imágenes en los ventrículos laterales, la razón y el conocimiento en el ventrículo medial y la memoria en el ventrículo posterior.

La teoría de la localización ventricular sentó sus bases en diversos tratados filosóficos, antropológicos, teológicos y médicos, la cual se aceptó sin cambios radicales, por más de 1000 años.

Tiempo después, se propuso la localización cortical, destacando el médico y filósofo francés Julien Jean César Legallois (1700 – 1814), quien realizó bosquejos en los que presentaba las diversas estructuras cerebrales, comenzó las bases de la experimentación neurocientífica en animales, en los que realizaba pequeñas lesiones corticales y estudiaba su comportamiento ante diversos ambientes.

Otro investigador importante fue Jean-Baptiste Bouillaud (1796 – 1881). Estudió la frenología, cardiología y neurología (Rolleston, 1931). Presentó casos reales de daño cerebral, defendía la localización del habla en los lóbulos frontales, estudiando individuos con características prominentes en el área frontal del cráneo y la cabeza (por ejemplo, personas con ojos mayúsculos o frente prominente). Finalmente, por medio de muchas observaciones y experimentos, Bouillaud postuló la existencia de dos áreas frontales del habla: una para la creación de ideas y, la otra para presidir los movimientos de la articulación fluida.

La historia neurocientífica continuó con el descubrimiento del funcionamiento de más áreas corticales, por investigadores como Gustav Fritsch (1838 – 1927) o Eduard Hitzig (1838 – 1907), quienes identificaron la corteza motora del perro por medio de estimulaciones eléctricas en el área de la circunvolución precentral del lóbulo frontal, lo cual significó un gran avance en el área, ya que encontraron que esta área cortical no estaba restringida a la tarea del habla.

De esta forma, la neurología clásica, nace de la necesidad de una ciencia que se encargase de la actividad cerebral derivada de las funciones psicológicas del ser humano. Dichas funciones se encuentran localizadas principalmente en las áreas corticales y, resultan tan complicadas que cuando existen lesiones encefálicas provenientes de distintas áreas (traumatismos, accidentes, o genéticos), se afecta al cerebro y a las funciones cognitivas del paciente, siendo cada caso único en su especie, por el nivel de deterioro y las áreas que se afectan; por eso, muchas veces resulta tan difícil pensar la dimensión de la enfermedad en un paciente, siendo necesaria la utilización de distintas técnicas.

Uno de los ejemplos más significativos, que detonó la investigación científica en esta área, fue el de Phineas Gage. Un hombre, capataz de construcción que, en 1848 a la edad de 25 años, sufrió un accidente en la obra de construcción de ciertas vías de ferrocarril (Damasio, 2015). Este accidente, provocó que una barra de hierro de aproximadamente un metro de largo cruzara a toda velocidad su mejilla izquierda, debajo del pómulo, rompiendo la parte posterior de la cavidad orbital, que está situada inmediatamente encima. Finalmente, el hierro atravesó gran parte de los lóbulos frontales, saliendo por completo por la parte superior del cráneo. Increíblemente, y fuera de todo pronóstico, Phineas Gage logró sobrevivir; de hecho, los médicos de la época relatan que nunca perdió el conocimiento y que, salió de la escena del accidente de pie, y caminando (Harlow, 1993). Sorprendentemente, este suceso no deterioró las capacidades cognitivas o de razonamiento de Phineas, mucho menos sus habilidades intelectuales; sin embargo, presentó una serie de síntomas muy peculiares: Phineas comenzó a ser una persona muy irregular, irreverente y blasfemo, impaciente por las restricciones, caprichoso y vacilante (Damasio, 2015). A partir del accidente, parecía que la personalidad del sujeto había cambiado por completo; estos nuevos hábitos, contrastaban muchísimo con las rutinas anteriores que lo describían como una persona de “costumbres moderadas”. Su vida, al igual que sus prácticas, se fue desmoronando de a poco. Perdió su trabajo, luego se divorció y a la edad de 32 años tuvo una grave crisis epiléptica de la cual ya no sobrevivió.

Este paciente, como muchos otros (Eslinger & Damasio, 1985), contribuyó a que la comunidad científica revisara el papel de la corteza prefrontal (en sus diversas secciones) sobre el comportamiento humano: si las habilidades comunicativas y asociativas del cerebro de Gage seguían intactas, ¿qué era aquello que no le permitía tomar decisiones que le fueran favorables? ¿Acaso, las conductas sociales y personales se habían desvanecido? ¿Concretamente qué era aquello que faltaba en el pensamiento crítico de Gage, que no le permitía desarrollarse como lo había hecho antes del accidente? ¿Carecía ya de libre albedrío? (Damasio, 2015). Todas estas y más cuestionamientos, permitieron avanzar en un área concreta de la neuropsicología: aquella que profundiza acerca de la habilidad de tomar decisiones.

2.1.2 Toma de decisiones

Ante las distintas observaciones que se han realizado acerca del comportamiento humano, existe una función que resulta particularmente llamativa: la toma de decisiones. Y es que, hasta hoy en día sigue habiendo estudios en los que se observan los distintos métodos o vías neurológicas que permiten al individuo tomar una decisión en particular. Durante muchos años se ha estudiado esta habilidad, ya que sobre ella se basa prácticamente todo el desarrollo humano: la historia, la política, la economía, el comercio, la moda, el entretenimiento, entre otros; existiendo una infinidad de áreas del haber humano que se ven influidas por las decisiones que tomamos día con día. Por ejemplo: en el área de la vestimenta, imaginemos encontrar la vía por la cual los consumidores eligen una prenda por sobre otra: ya sea por el color, la innovación en formas, figuras, etc, o imagine el lector que posee una tienda, y que existe la posibilidad de conocer la ruta por la cual los consumidores elegirán mi local por encima de los demás.

Diversos investigadores han definido a la capacidad de tomar decisiones como: “la habilidad de procesar múltiples alternativas y elegir un curso óptimo de acción que permita lograr los objetivos en un campo determinado” (Castelli et al., 2010). Asimismo, la habilidad de tomar una decisión se representa de la siguiente forma: “dados dos estados, A y B, donde uno es diferente del otro y conllevan características que los hace ser diferentes, el sujeto en cuestión debe decidir ya sea A por encima de B, o viceversa” (Edwards, 1954).

En este modelo, podemos reconocer las siguientes características: en primer lugar, el individuo se encontrará siempre ante una dicotomía que le coacciona a realizar una decisión. En la mayoría de los casos, esta bifurcación se encuentra marcada entre lo que,

en un futuro, producirá un estado de bienestar al sujeto o, del lado contrario, lo que producirá un malestar. Por ejemplo: Si una persona tiene 10 monedas, y quiere adquirir un producto que cuesta 8 monedas, su razonamiento cognitivo le hará razonar ante ambas opciones: (1) conseguir el producto y tener un total de 2 monedas; o, (2) no conseguir el producto y conservar las 10 monedas.

En el caso de nuestra prueba, existen 4 opciones; sin embargo, la dicotomía se presenta de la siguiente forma: perder o ganar créditos.

Existe una estructura general al momento de tomar una decisión. Esta estructura consta de 4 períodos: entrada, procesamiento, salida y retroalimentación (Ernst & Paulus, 2005). La entrada describe la presentación de los estímulos sobre los cuales se tomará una decisión. Estos estímulos deben estar bien definidos entre sí, y presentar características que los diferencien el uno del otro u otros. El procesamiento se refiere a la valoración de los estímulos y la formación de preferencias: este proceso suele ser el más tardado, ya que el sujeto debe tener la habilidad de reconocer cada una de las opciones posibles, sus características, ventajas y desventajas, y según este proceso crear una preferencia de elección; es decir, percatarse de la opción que es de su interés. La salida, se refiere a la acción que realiza el sujeto para demostrar la elección realizada, discriminando o descartando a su vez las demás elecciones. Es importante describir que, este paso es el más importante, ya que a partir de él se crearán más sistemas de elección en los que la elección anterior será determinista; en otras palabras, la elección tomada por el sujeto resultará irreversible y sobre ella se basará el sistema cognitivo para realizar más elecciones. Por último, se encuentra la retroalimentación, la cual se describe como la experiencia y evaluación obtenidas por la acción perpetuada anteriormente. Esta es utilizada por la mente para estimar el valor de la elección tomada y, con ello, determinar si la elección produce un bienestar al individuo o a la situación en particular.

La habilidad de tomar decisiones o de predecirlas ha sido ampliamente estudiada por psicólogos y economistas (Edwards, 1954), ya que a partir de la habilidad de predecir la decisión tomada por un sujeto o una población, podemos realizar a ciencia cierta un pronóstico a corto o mediano plazo de la situación analizada. Se han encontrado sistemas neuronales implicados en las distintas fases de la toma de decisiones: por ejemplo, se ha examinado (Di Chiara et al., 2004) que la dopamina está implicada en el sistema de recompensas y al aprendizaje asociativo, la serotonina en la emoción e impulsividad, la

acetilcolina en la memoria (Gold, 2003) y la noradrenalina en la atención y excitación (Berridge & Waterhouse, 2003).

De esta forma, la toma de decisiones depende de tres procesos temporales distintos entre sí: 1) la evaluación y formación de preferencias entre las opciones posibles; 2) la selección y ejecución de una acción, derivada de una elección tomada y; 3) la experiencia o evaluación de un resultado (Ernst & Paulus, 2005).

Tomar decisiones, es entonces, una práctica desarrollada por humanos y animales que nos ha permitido sobrevivir, desarrollarnos y evolucionar a través de la historia. Diversos estudios formalizan esta praxis, por medio de métodos matemáticos, psicológicos o neurológicos, que asocian nuestras conductas a diversas razones; por ejemplo, el condicionamiento clásico de Pavlov (Domjan, 2005) o el condicionamiento operante (Skinner, 1953).

Desde el punto de vista neuro-sistémico, la formación del juicio para tomar una decisión involucra dos tipos de vías neurales: cognitivas y emocionales. Y, existen muchos factores que influyen en el desarrollo de las preferencias, como: 1) las características físicas de las opciones, 2) características de las predicciones realizadas dadas las opciones, 3) la valencia de la elección; es decir, si al tomar una preferencia esta traerá repercusiones positivas o negativas al estado presente, 4) la prominencia; es decir, la intensidad con que la decisión repercute en el individuo, 5) la probabilidad o grado de certeza que se tiene al momento de realizar una elección o, finalmente 6) el tiempo o demora de la elección; donde el sujeto, puede cambiar de elección según ésta convenga en el instante presente en cuestión.

Existen otros muchos factores que involucran a la toma de una decisión que son estudiados con detenimiento, dado que estos resultan relevantes en distintos campos del conocimiento. Cada uno de estos factores son codificados por una serie de redes neurales, las cuales son moduladas por distintos procedimientos neuroquímicos. Podemos decir, que la habilidad de tomar una decisión es una práctica continua y única en cada individuo, ya que los factores antes mencionados influyen de distinta manera y magnitud en cada persona. Existen zonas cerebrales asociadas a la toma de decisiones y sus operaciones. La corteza parietal, por ejemplo, se encuentra asociada al procesamiento de preferencias y en la evaluación de la probabilidad de éxito. La corteza cingular anterior, se ha asociado a los procesos de incertidumbre, entre otras (Dehaene et al., 1999).

Existe también, la posibilidad de editar el campo de opciones dado (por ejemplo, relacionar aquellas opciones que se parecen, o descartar aquellas que son inviables); esto sirve para simplificar el campo de acción y ayudar al sistema a tomar una opción más certera. Se ha sugerido que estos procesos subyacen tanto en la corteza dorsolateral como en la orbitofrontal derecha. El razonamiento, por su parte, que es fundamental para la deliberación, se ha propuesto que se lleva a cabo por medio de las circunvoluciones medio frontal e inferior izquierda (Cummings, 1995).

La valoración afectiva, por su parte también implica procesos automáticos y conscientes que han sido estudiados por distintas áreas de la psicología y la neurociencia, en búsqueda del rol de las emociones al tomar una decisión. Estos atributos afectivos que se le dan a una opción se encuentran en las regiones límbicas del cerebro, como lo es la amígdala, la ínsula, la corteza orbitofrontal y el cíngulo anterior. Dentro de esta valoración, se señala la localización de los marcadores somáticos, los cuales serán descritos a detalle en el siguiente apartado.

Finalmente, tomar decisiones es una habilidad en la que, durante mucho tiempo se ha creído que sólo la razón se ve involucrada ante esta situación: el individuo, que tiene en frente dos o más posibilidades, por medio de la experiencia y observaciones propias es capaz de *razonar* acerca de aquello que cree será conveniente, ya sea en un futuro próximo o lejano (Bechara & Damasio, 2005). Sin embargo, existe una teoría por la cual las decisiones son influenciadas tanto directa como indirectamente por las emociones; estas actúan como “marcadores” que ayudan al organismo a detectar preferencias subjetivas en las opciones, resaltándolas por entre las demás. Esta teoría lleva el nombre de marcador somático.

2.1.3 Marcador somático

La hipótesis de los marcadores somáticos fue introducida en 1996 por Antonio Damasio (Damasio, 1996). La idea central postula la existencia de ciertas señales ‘marcadoras’, las cuales influyen en los procesos de respuesta a los estímulos en múltiples niveles de operación. Algunos de estos procesos podrán ocurrir de forma consciente y algunos otros de forma inconsciente. Estos marcadores surgen desde procesos biorregulatorios, incluidos aquellos que se expresan en forma de emociones o sentimientos, pero no están confinados a ellos. La razón por la que estos marcadores son llamados somáticos, es porque están

relacionados con la estructura y regulación del estado corporal, incluso cuando no surgen en el cuerpo propiamente dicho, sino en la representación cerebral del cuerpo.

Pongamos un ejemplo: cuando se asiste a un restaurante, el sujeto tiene la posibilidad de escoger siempre un platillo para consumir; ¿qué es aquello que nos permite preferir un platillo por entre todas las opciones que nos proporciona el restaurante? Al leer el menú, el sujeto revisa el espacio muestral: una de esas opciones se convertirá en su próximo alimento. Cada uno de los platillos (opciones) es examinado por el sujeto que, a su vez, por medio de su experiencia pasada, comienza a percibir aquello que convierte en cada platillo en más o menos favorito: el sabor, la cantidad, el apetito y hasta el costo son sólo algunos de las características que podemos aprehender de cada uno de los platillos. Cada una de estas características representa para el sujeto un “marcador”, el cual es una representación “emocional” de aquello que atraerá para sí cada uno de los platillos. Finalmente, reconociendo las características y emociones intrínsecas en cada uno de los alimentos, el sujeto podrá ser capaz de reconocer aquel platillo que le será más provechoso (Damasio, 2015).

Son estas emociones intrínsecas en las opciones, aquellas que nos permiten dibujar preferencias entre ellas, ya sea de manera consciente o inconsciente. En pacientes que sufren de alguna alteración o deterioro en las partes del cerebro que se ven involucradas en la toma de decisiones, la mayoría de las veces no son capaces de realizar esta relación razón-emoción; es decir, son capaces de reconocer qué platillos son más caros, aquellos que son más grandes o la sensación gustativa que les causará (si está salado, dulce, si contiene picante, etc.), no obstante, no logran percibir si estas características les serán de conveniencia o no, por lo que, según investigaciones en este tipo de pacientes (Eslinger & Damasio, 1985) “tardarían horas en elegir qué platillo es de su conveniencia, y aun así elegirían mal”.

Estos pacientes, especialmente aquellos cuyo daño se centra en las áreas ventral y medial, usualmente presentan severas disociaciones en lo que respecta a la toma de decisiones personal y social; sin embargo, suelen conservar en su totalidad sus habilidades intelectuales. Usualmente, los pacientes antes de sufrir el daño cerebral son conocidos como inteligentes, creativos o, en general exitosos; no obstante, luego de sufrir el daño desarrollan patrones de anormalidad en la toma de decisiones, que se relata más palpable en sus relaciones interpersonales, ya sea con personas que conocen con anterioridad o con nuevas figuras sociales (Bechara & Damasio, 2005).

Desde tiempos atrás, el estudio de las emociones ha tenido una historia muy accidentada dentro de la psicología y la neurociencia. Esto se debe, a que ha habido muchos desacuerdos en cómo definir las.

Para el análisis sustancial de la capacidad cognitiva de toma de decisiones, existen diversos factores que ayudan al sujeto a inclinarse hacia alguna de las opciones vigentes. Entre ellos, como ya se ha dicho, uno de los principales es la experiencia; en ella, el sujeto tiene el marco muestral pasado y futuro de la acción a realizar (Ernst & Paulus, 2005). Estas experiencias frecuentemente se basan en diversos tipos de retroalimentaciones que recibe el sujeto al realizar una elección. A continuación, revisaremos en un tipo de estas retroalimentaciones: el refuerzo y el castigo.

2.1.4 Refuerzo y Castigo

El refuerzo y el castigo son conceptos que fueron introducidos por B. F. Skinner, en 1953, como parte de su teoría del condicionamiento operante (Skinner, 1953). Esta teoría se basa en que, cada uno de los comportamientos (operaciones, pensamientos o acciones) determina una consecuencia. Es decir, cuando un organismo actúa sobre un ambiente determinado, este ambiente le brindará una “retroalimentación”, que le servirá al sujeto como aprendizaje. Cuando ocurre esta retroalimentación, entonces la probabilidad de que el sujeto vuelva a realizar el mismo comportamiento se ve modificada. Este efecto es llamado refuerzo, cuando la probabilidad de realizar el comportamiento aumenta o; castigo, cuando la probabilidad disminuye.

En primera instancia, estas observaciones proceden de la conjetura inicial que propondría Darwin en el siglo XIX. Este, al insistir en la continuidad de las especies como hito evolutivo, cuestionó la creencia general de que el hombre era el único entre los animales que poseía la capacidad de pensar. Los animales, como era entendido, tenían una cierta capacidad de procesar los acontecimientos vividos según su instinto innato: es decir, todo organismo de una misma especie responde de la misma forma ante un estímulo dado, por lo que no tendrían capacidad de aprendizaje o de predecir acontecimientos de un futuro próximo o lejano. Este pensamiento se conservó durante muchos años, hasta que, en 1922, E. L. Thorndike retomó el argumento y comenzó a hacer experimentación en animales (Thorndike, 1922).

En sus experimentos, la hipótesis principal siempre se basaba en la pregunta: ¿Es el animal en cuestión capaz de pensar? ¿Si es así, de qué forma utiliza sus pensamientos

para tomar decisiones? ¿Estos pensamientos se realizan basados en la experiencia, y por lo tanto es capaz de recordar?

Entre sus experimentos destaca uno (Thorndike, 1922) en el cual colocó a un mono dentro de una habitación. En esta habitación no existía otro símbolo ni estímulo más que el de una palanca. Dado cierto tiempo el animal encontraba la palanca y sucedía lo esperado: cuando la palanca era corrida hacia abajo, el animal obtenía una porción de comida. Al cabo de un tiempo, el mono era capaz de replicar el estímulo, de manera que siempre que tenía hambre tiraba de la palanca para ser alimentado. Algo similar sucede con los refuerzos.

Dentro del fenómeno del refuerzo, existen dos tipos de sucesos: 1) el refuerzo positivo, que se da cuando el sujeto recibe algo a cabo de su comportamiento; o 2) el refuerzo negativo, que sucede cuando el sujeto es privado de algo por la realización del comportamiento en cuestión. Obsérvese que, en ambos casos la retroalimentación sucede con el fin de que aumente la probabilidad de que el sujeto repita el mismo comportamiento (Fig. 1).

Pongamos un ejemplo analizando a un sujeto X, el cual debe manejar correctamente. Para que el sujeto *aprenda* que debe manejar correctamente, existen distintas conductas que debe seguir: debe abrocharse el cinturón de seguridad, debe respetar las señales viales, debe conocer el reglamento de manejo y vialidad, etc. Cada uno de estos comportamientos se ve fortificado por diversos refuerzos; por ejemplo, existen leyes que determinan que aquellos conductores que no hayan corrompido ninguna ley de vialidad durante el año, se les otorgará un bono de cierta cantidad de dinero en gasolina. Este caso, resulta ser un reforzador positivo; ya que, por su buen comportamiento, el sujeto 'recibe' una retroalimentación que en este caso es positiva.

En este mismo marco, en el que un sujeto debe manejar correctamente, suponemos un escenario concretamente: al momento de que una persona ingresa a un automóvil, en aquellos que son de más reciente modelo, existe una alarma que, mientras esta no se coloque el cinturón de seguridad, seguirá sonando. Este es, por tanto, un refuerzo negativo: la conducta de ponerse el cinturón ocurrirá cada vez con más frecuencia y siempre, ya que el ambiente (en este caso, el automóvil) no suprimirá aquel sonido molesto a menos que la conducta sea realizada. Una conducta que aumenta su probabilidad cuando algo en el ambiente se ve suprimido o eliminado.

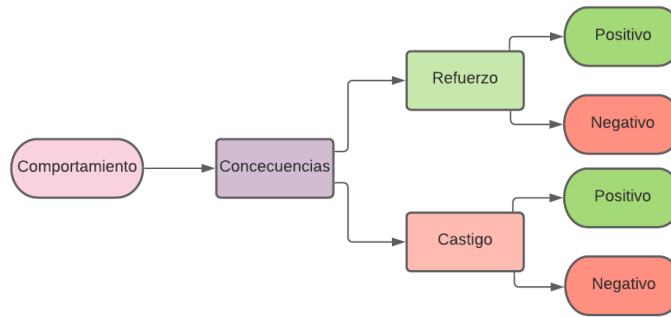


Figura 1 Esquema del Condicionamiento Operante

Por otro lado, existen aquellas retroalimentaciones que son llamadas ‘castigos’ (Bechara et al., 2000). En los castigos, existe un estímulo que lleva al organismo en cuestión a disminuir la probabilidad de repetir el comportamiento realizado. De forma que asimila una experiencia nueva a partir de una vivencia negativa.

Siguiendo con el ejemplo del automovilista que debe aprender a manejar correctamente, expondremos los dos tipos de castigos. Usualmente, cuando un automovilista es captado por las autoridades viales faltando a alguna regla de manejo, este recibe a cambio una multa o sanción. Esta multa, en términos psicológicos, resulta ser una consecuencia de tipo castigo, ya que su fin es reducir el número de faltas viales por parte del conductor, ya que, ¿qué conductor quiere pagar una multa cada vez que conduce? Evidentemente, este castigo es de tipo positivo, ya que el individuo, por su mala conducta, recibe una multa. Por otro lado, existen leyes que, cuando un automovilista infringe en muchas ocasiones la ley de vialidad, las autoridades correspondientes tienen la posibilidad de privar al sujeto de su licencia de conducir. En este caso, el castigo que obtiene el individuo resulta ser de tipo negativo, ya que para reducir la probabilidad de que el sujeto vuelva a cometer una falta vial, este debe perder su licencia de conducir.

Finalmente, obsérvese cuan necesarias son las retroalimentaciones en el proceso del aprendizaje. Estas pretenden reconocer el espacio muestral en el que nos vemos situados cada vez que ejercemos un comportamiento, y en ellas nos basamos para realizar, ya sea de forma consciente o inconsciente, predicciones a corto y a largo plazo de cada escenario en el que nos vemos involucrados.

En el caso de la aplicación de la prueba neuropsicológica IGT, como se verá más adelante, esta se basa en esta misma teoría: para que el participante reconozca aquellas elecciones que representan ventaja para él, recibirá un refuerzo; y para reconocer las

elecciones que le pondrán en una situación de desventaja; será expuesto a un castigo. Más adelante (en el apartado 2.1.6) se expondrán los objetivos de la prueba y sus componentes teóricos.

2.1.5 Introducción a las pruebas neuropsicológicas

El primero en prestar atención a la necesidad de diversos tipos de pruebas fue el investigador neuropsicólogo Alexander Luria (Cole, M., Levitin, K., & Luria, 2014), quien durante sus más de 20 años de investigación realizó un amplio catálogo de pruebas neuropsicológicas dedicadas a la detección de distintos tipos de praxias, gnosias, funciones ejecutivas, etc.

De la misma forma, gran parte de los estudios realizados con pruebas neuropsicológicas que se dieron durante la década de los 30's, sucedieron por causa de la gran cantidad de combates y beligerancias que tuvieron parte durante la primera y la segunda guerra mundial (Loring, 1991). Estos sucesos, pusieron a prueba a la humanidad en distintos aspectos. Uno de los más importantes fue su capacidad de rápida adaptación: familias que debían ser separadas, pérdida temprana de seres queridos, el hambre o la falta de suministros son sólo algunos de los grandes problemas que debía enfrentar la población de aquella época; esto, por supuesto trajo diversos tipos de deterioros mentales. Luego de estas etapas bélicas, existieron muchos de este tipo de detrimentos. La gente sufrió de traumatismos de tipo psicológicos o psiquiátricos que debían ser diagnosticado y atendidos, por lo que surgió la urgencia del desarrollo de nuevas herramientas de estudio del comportamiento.

Por otra parte, es relevante que, en cada sector de la población en el mundo, residen comportamientos singulares, que los hace ser únicos y que diversifica la capacidad cognitiva en el humano. Esto, evocó la necesidad del estudio neuropsicológico basado en las diferentes etnias existentes en una población en concreto (La Rue et al., 1999; Pontón, 1999); por ejemplo: en la población estadounidense existe una porción Afrodescendiente, una proveniente de Asia, la porción Latina, entre otras. Cada una de ellas tiene sus vivencias, carencias y necesidades psicológicas en particular, y eso permite crear estudios neuropsicológicos enfocados en cada una de ellas, así como en el caso del presente estudio en particular en la población hispano hablante.

Por medio de las pruebas neuropsicológicas se permite al especialista la evaluación adecuada de los cambios patológicos cerebrales, tanto desde un punto de vista anatómico (por medio de la imagenología médica) como funcional; se precisa también la cuantificación

de dicho daño, lo que resultará imprescindible al momento de comenzar con la rehabilitación correspondiente (Durán, 2009).

En la actualidad, se han realizado diversos estudios (Demakis, 2006) que intentan exponer la validez de las pruebas neuropsicológicas por medio de estudios de cuantificación de daño cerebral en grupos específicos. Por ejemplo, G. J. Demakis (Demakis, 2004) realizó un estudio en el que comparó la realización de diversas funciones ejecutivas de personas que padecieran de daño en la corteza prefrontal, comparados con individuos que no presentaran ningún tipo de detrimento mental. Los resultados fueron divididos: por un lado, en la primera tanda de pruebas que él llamó 'Pruebas-A', los resultados reflejaron grandes diferencias entre ambos grupos estudiados. Sin embargo, en las 'Pruebas-B' no se encontraron diferencias significativas.

Estos resultados pueden significar dos cosas: (1) que el cúmulo de pruebas aplicadas en ambos sectores no fue la correcta, ya que no logró ser capaz de detectar las diferencias entre cada uno de los grupos; o (2), que las pruebas aplicadas carecen de validez. Aunado a esto, se discurre en la necesidad de comprobar la justificación que hace necesaria la aplicación de una prueba neuropsicológica en particular; es decir, muchas veces estas resultan tener un valor muy conciso o ajustado, lo que para algunos estudios resulta muy útil, y para otros son resultados que carecen de validez.

En este tenor, en apartados posteriores reconoceremos las características de la prueba neuropsicológica de nuestro interés, la cual resulta ser útil en diversos tipos de estudios y, tiene como característica primaria la diversificación de las variables que la componen, lo que la hace una prueba polivalente y válida ante diferentes entornos.

Finalmente, durante mucho tiempo ha existido la discusión sobre la validez de las pruebas que son traducidas de un idioma a otro, ya que, como hemos explicado, muchas veces estas herramientas resultan ser muy concisas en su metodología, lo que las hace ser efectivas sólo en la parte de la población para la que ha sido diseñada; por ejemplo, puede una prueba ser útil en el análisis del comportamiento en adultos mayores caucásicos, más no en aquellos que son afrodescendientes. Para esto, se han diseñado distintos modelos de medición de invarianza, que tienen como objetivo analizar los cambios de percepción entre dos poblaciones determinadas. Existe en particular una investigación hecha por Siedlewski (Et al., 2010), que relata las diferencias y semejanzas en la aplicación de ciertas pruebas neuropsicológicas entre la población hispanohablante estadounidense, y la

población cuyo idioma vernáculo es el inglés. Se concluyó, que entre ambos sectores de población existe una invarianza mínima, la cual permite realizar traducciones del inglés al español. No obstante, en 2009 (Tuokko et al., 2009) se encontró evidencia de invarianza entre hablantes del inglés y el francés, en una batería neuropsicológica en un estudio canadiense sobre la salud y el envejecimiento.

Esta información ayudará a pronunciar el ahínco de la necesidad de establecer las bases de la implementación de pruebas neuropsicológicas en la lengua vernácula, en nuestro caso el español.

Finalmente, en el marco del desarrollo de pruebas neuropsicológicas, a finales del siglo XX, se adelantó en la implementación de una prueba neuropsicológica que fuera capaz de examinar la toma de decisiones en el ser humano; ya que, observaciones anteriores (Damasio, 2015; Eslinger & Damasio, 1985) concluyeron que, cuando un individuo sufre deterioro en la sección prefrontal del cerebro y se ve afectada su capacidad de tomar decisiones, este daño no se veía reflejado en otro tipo de pruebas; es decir, la mayoría de los pacientes no se veían afectados a nivel intelectual, ni en la memoria, percepción, lenguaje, incluso no se veían afectadas sus habilidades sociales primarias. Por ello, era necesaria la creación de una prueba neuropsicológica que logrará ser capaz de captar este nivel de deterioro.

2.1.6 Iowa Gambling Task

La prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task (IGT) fue introducida a la investigación científica por parte del científico Antoine Bechara (Bechara et al., 1994), investigador del Departamento de Neurología, de la Universidad de Iowa. Su hipótesis redundaba en la observación de que existen casos de personas que padecen daño cerebral, el cual se encuentra focalizado en la corteza prefrontal, en su sección ventromedial. Este daño provoca que dichos pacientes desarrollen ciertos desperfectos, los cuales se ven reflejados en su capacidad para tomar decisiones en la vida real. No existía, en su tiempo, ninguna prueba que examinara los mecanismos neurales o cognitivos que llevan a una persona a tomar una decisión determinada. Por lo que, Bechara vio necesaria la realización de una nueva prueba, la cual tuviera como objetivo evaluar la capacidad de tomar decisiones.

Esta, se centra en un paradigma (Dunn et al., 2006) cuyo objetivo es imitar una situación en las que una persona tiene que tomar una decisión en la vida real, en la forma en la que se perciben la incertidumbre, la recompensa y el castigo.

La IGT se describe de la siguiente manera (Bechara et al., 1994): Se presentan frente al sujeto cuatro mazos de cartas, de la misma apariencia en tamaño, color y forma. Para fines prácticos, a cada mazo se le destina una letra del abecedario, comenzando por la 'A'. Así, durante la prueba el usuario será capaz de elegir una carta del mazo que guste de forma individual, y esta elección le hará perder o ganar créditos. El participante cuenta con un banco inicial de 2000 créditos, los cuales utilizará para realizar pequeñas 'apuestas' durante la prueba. De esta forma, el objetivo es que el usuario colecte la mayor cantidad de créditos posible, realizando las elecciones que él crea le coloquen en una situación de ventaja, con la libertad de elegir la carta que se desee, y realizar los cambios que crea pertinentes, sin importar que se escoja el mismo mazo varias veces.

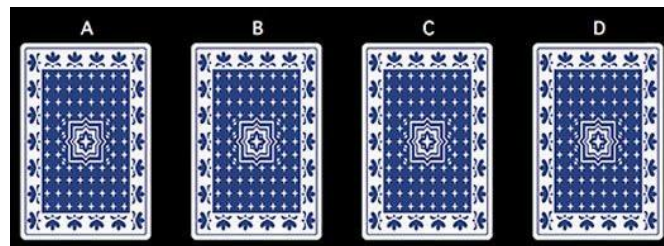


Figura 2 Representación gráfica de la prueba IGT

Aunque la prueba sustancialmente parece ser aleatoria, está sujeta a una estrategia particular, la cual se basa en la particularidad de que los participantes deben renunciar a los beneficios a corto plazo, para obtener beneficios a largo plazo. Por tanto, se reconoce que las recompensas y los castigos de la prueba son predispuestos antes de la realización del experimento. Para cada selección de los mazos A y B, el participante gana \$100 créditos, y para las elecciones de C y D, gana \$50. Nótese en la diferencia de ganancias entre los mazos, la cual realiza una separación entre ellos: en los dos primeros se gana el doble de créditos que en los dos últimos. No obstante, las penalizaciones en los mazos de mayor ganancia son mayores y de mayor probabilidad, separándose de los dos últimos mazos (C y D), donde las penalizaciones son de menor cantidad y frecuencia. Con estos valores, podemos estimar los costos netos de cada mazo y reconocer aquellos que son ventajosos por encima de los que no lo son.

Por ejemplo, para el conjunto 'A' podemos inferir que, si el participante elige este mazo en 10 ocasiones, podrá tener una ganancia estimada de \$1000. Sin embargo, lo que desconoce es que, de igual forma se habrá encontrado con 2 cartas de castigo, las cuales cada una le hará perder \$500. De esta forma, sumando las ganancias y pérdidas esperadas en estas diez elecciones, obtenemos una pérdida neta de \$200. Algo similar sucede con el

mazo 'B', donde la probabilidad de perder es mayor; no obstante, las pérdidas por ocasión son menores. Lo cual, ayuda a cambiar la percepción que el sujeto tiene de este mazo, aunque la pérdida neta sea aproximadamente la misma. Estos sencillos cálculos estadísticos, convierten a este conjunto de mazos en aquellos que representan desventaja al participante.

Por su parte, los mazos C y D, se comportan de una forma distinta. Al elegir diez veces, por ejemplo, al mazo 'C' reconocemos una ganancia estimada de \$500 créditos. Advirtiendo las veces que el usuario recibe una retroalimentación negativa (castigo), las cuales son dos de -\$100 créditos cada una, obtenemos una ganancia neta de \$200 cada diez elecciones. De la misma forma en el mazo 'D', donde la probabilidad de ganar aumenta ($p = 0.7$) y el castigo por intento es menor (-\$50), se obtiene una ganancia neta de \$200. Esto permite que denominemos a estos mazos como 'mazos de ventaja'.

Según esta dinámica y su aplicación en distintos estudios (Evens et al., 2016; Gordillo León et al., 2011; Li et al., 2010), luego de una cantidad determinada de elecciones, el participante control debe ser capaz de distinguir aquellos mazos que presentan ventaja y, elegirlos con mayor frecuencia conforme avanza la prueba.

Por su naturaleza, esta prueba permite al usuario adentrarse a una zona en particular de su cerebro, la cual se encarga de la toma de decisiones, de una forma amable y divertida a la vez. Pretende también recrear distintos procesos cognitivos que vivimos en la vida diaria, como la incertidumbre, o las consecuencias de tomar buenas o malas decisiones. De igual forma, se suscita un ambiente donde la experiencia se torna en un elemento clave para las elecciones siguientes, como en la vida cotidiana.

Comenta Antonio Damasio, en su famoso libro 'El error de Descartes' (2015) sobre esta prueba: "Se configura un mundo con el que somos capaces de interactuar según los sesgos propios de nuestro organismo: por ejemplo, nuestra preferencia por el beneficio sobre las pérdidas, por el premio sobre el castigo, por el riesgo menor sobre el mayor".

De esta manera, se reconocen en la prueba distintas etapas de aprendizaje y comportamiento a las que un participante control se ve sometido: En primera instancia, el participante tiene un total desconocimiento de la prueba, de sus implicaciones técnicas o experiencias que le pueda otorgar, por lo que la única estrategia exitosa que puede ejecutar es realizar una elección a plena 'corazonada' ('hunch', término en inglés) (Amoss, 2009; Bechara et al., 1996). Estas 'corazonadas', implican un riesgo al participante, sin embargo,

luego de 10-15 elecciones, se comienza a vislumbrar el sesgo electivo, entre los mazos de ventaja (C y D) sobre los de desventaja (A y B). Luego de la selección 20, se reconoce como el periodo donde el participante ha tenido algunas pérdidas, por lo que se realizan predicciones basadas en la experiencia de cada mazo, ya que estadísticamente luego de 30 elecciones, el sujeto puede realizar un análisis superficial sobre campo muestral que ya ha experimentado.

Se crean preferencias: la ganancia inmediata contra el rendimiento mayor a futuro, donde los pacientes controles suelen preferir la segunda opción. Igualmente, se crean estrategias, donde comúnmente, según la idiosincrasia de quien esté presentando la prueba, se arriesga el banco de créditos con tal de ganar un poco más cada vez; no obstante, el participante reconoce el riesgo que toma y es capaz de ver a los mazos 'C' y 'D' como elecciones de seguridad, donde sabe que el riesgo es mínimo.

El periodo final comienza luego de la elección 80. Donde la mayoría de los participantes pueden explicar con claridad qué mazos son 'buenos', 'malos' y porqué. A pesar de ello, los participantes que no pueden explicar sus estrategias dentro del juego siguen prefiriendo los mazos de ventaja (C y D).

Esto resulta interesante ya que, en este tipo de sujetos se infiere en la formulación de un espacio inconsciente muestral de elecciones, donde estas no se vislumbran en la razón presente, sin embargo, se encuentran presentes en la mente y ayudan al individuo a realizar elecciones a su conveniencia, incluso si este no es consciente de tal beneficio.

Asimismo, a esta prueba se pueden añadir más parámetros biométricos para mejorar las observaciones y encontrar un mayor número de paridades o divergencias entre grupos de estudio. Tal es el caso de la respuesta de conductancia de la piel (SCR, por sus siglas en inglés), la cual el mismo Bechara empleó en investigaciones posteriores utilizando la IGT (Bechara et al., 2000) y que, como se vio con anterioridad, se convirtió en el parámetro por excelencia de la medición del marcador somático predictivo.

A continuación, se desarrollará el marco computacional de la prueba, el cual integrará nociones básicas de la computación para el desarrollo e implementación de interfaces gráficas.

2.2 Marco Computacional

A través del tiempo, hemos podido observar que, en los años más recientes la tecnología ha crecido de forma exponencial. Este crecimiento llamó la atención de toda la humanidad que cada vez se ve más involucrada en situaciones que implican la utilización de uno o varios dispositivos tecnológicos. (Romano, 2018)

Esta humanidad, que contempla el crecimiento tecnológico, es la misma que está dispuesta a desarrollar nuevas herramientas y aplicaciones en las que se vea involucrado un ambiente computacional, que permita simplificar las complicaciones o problemas que se puedan presentar, tanto en un entorno individual como poblacional.

El desarrollo de la tecnología es, finalmente, proporcional a la cantidad de aplicaciones que esta tiene en el entorno humano: no sería necesaria la expansión del conocimiento tecnológico si las aplicaciones en la que este se fundamenta no fueran tan esenciales para el humano. Por tanto, se reconoce en la tecnología como la herramienta estrella de nuestros tiempos, donde es necesario que las tareas que realizamos cotidianamente involucren procesos tecnológicos. (Sousa, 2014)

La tecnología tiene una rama principal de desarrollo: la computación. En esta, podemos encontrar todas las características anteriormente mencionadas acerca de la tecnología; aunando una más: la creación intrínseca de un nuevo entorno. Este entorno, que se podría meditar como “una nueva dimensión”, permite que quien utiliza un dispositivo computacional, por más sencillo que este parezca, realice tareas que comúnmente no se podrían realizar en un entorno “físico”. La comunicación humano-computador se convierte en una interacción “interdimensional”, donde el sujeto involucrado sale de su realidad física y se contacta con un dispositivo virtual, el cual, tiene como finalidad simplificar la ejecución de tareas por parte del sujeto (Coello Coello, 2003). Esta comunicación antes descrita, se lleva a cabo por medio de interfaces, las cuales se describirán en el siguiente apartado.

2.2.1 Interfaz

En la vida cotidiana de una persona en la actualidad, la interacción con interfaces es fundamental para muchas de sus tareas; no sólo al utilizar una computadora, sino también en objetos de uso habitual como un celular, un cajero automático, un automóvil, una caja registradora, etc. Por tanto, son las interfaces un instrumento primordial para la comunicación que sucede entre el individuo y el dispositivo con el que se desea relacionar.

La RAE¹ define como interfaz a cualquier soporte, o medio por el cual se comunican dos sistemas que no utilizan un mismo lenguaje². Considerando esta expresión, se pueden utilizar no sólo para definir la gama de conexiones existentes entre los sistemas, sino también los dispositivos que hacen posible la comunicación entre estos dos sistemas.

Una interfaz, por lo tanto, debe reflejar las propiedades físicas y funcionales de la entidad a la que representan, en un proceso comunicativo sobre el cual se define la existencia de un sistema espectador y otro que es estimulante. Por ejemplo, en una televisión el sistema debe ser capaz de mostrar las características de su estímulo (canal, fuente, medio comunicativo, etc.) para que el usuario expectante sea capaz de adquirir nuevos conocimientos a partir de estas persuasiones. De la misma manera, el sistema televisivo debe contar con una serie de funciones que el usuario sea capaz de ejecutar, de forma que el estímulo visual pueda ser seleccionado por el usuario, cumpliendo así el objetivo de una televisión: entretener a quien la ve.

De esta forma, dentro del análisis desarrollado podemos definir a la interfaz no sólo como un medio, sino como un entorno en que el un usuario (sistema 1) se ve situado, para lograr interactuar con una realidad distinta a la propia (sistema 2); en este caso, esta es una realidad virtual; es decir, cualquiera de los estímulos que el sujeto recibe por medio de este sistema provienen de un medio computacional(Ryan, 2004).

Actualmente, el concepto de realidad virtual es muy conciso en cuanto a su significado. Usualmente se utiliza para referirse al adelanto tecnológico que permite al usuario rodearse de estímulos virtuales que tengan apariencia real. Por ejemplo, la combinación de gafas de realidad virtual y la recepción de sonidos envolventes. Sin embargo, muchas veces nos vemos situados en una “realidad virtual” sin darnos cuenta, o sin necesitar de altas tecnologías (Levis, 2006).

Por ejemplo, al jugar un videojuego. Esta experiencia a menudo representa para los usuarios zambullirse en una realidad distinta: donde existen criaturas fantásticas, donde la vida se regenera luego de un tiempo, o simplemente, donde la muerte no es un obstáculo para llegar a tu objetivo final. El usuario se expone a estas nuevas condiciones y se adapta a ellas, de forma que, con la experiencia en el ambiente, logra crear estrategias y tomar

¹ Real Academia Española.

² REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [Fecha de la consulta].

decisiones que le parezcan favorables. Todo esto, en un ambiente virtual; en otras palabras, que no perjudica ni aporta a sus quehaceres cotidianos o fisiológicos por naturaleza.

A partir de estas características nace el concepto de 'interfaz de usuario', el cual, en pocas palabras se precisa como puente entre el humano y un ordenador. Este puente, sirve esencialmente para favorecer la transmisión de datos entre el computador y el usuario. A nivel visual, el construir una interfaz gráfica de usuario representa ser todo un reto; y es que, la cantidad de funciones que un computador puede realizar a la vez debe ser equiparable al nivel de comunicación que un usuario puede tener con el sistema; de nada serviría tener computadores de gran potencia, si el usuario no puede acceder de forma sencilla y práctica a este sistema (Acosta & Zambrano, 2006).

En la actualidad, como hemos revisado con anterioridad, el uso de interfaces gráficas de usuario (GUI, por sus siglas en inglés), se registra en usuarios de todas las edades y condiciones (económicas, culturales, sociales, etc.), donde utilizan ordenadores o cualquiera de las variantes tecnológicas (Alatríste Martínez, 2018; Cortes Camarillo et al., 2016). Este hecho, ha creado en la sociedad entera una gran demanda de dispositivos electrónicos de cualquier tipo (televisores, celulares, computadores, tabletas, etc.), ya que acceder a la información a través de estos es cada vez más fácil. Esta aptitud se debe en gran parte a las GUI que describen a estos dispositivos, ya que siendo 'amigables' con el usuario, abren el panorama de sujetos que las utilicen.

En este panorama, es cuando se observa la importancia de entornos visuales que resulten sencillos a la percepción humana. Mientras las interfaces gráficas sean más sencillas de digerir para el humano, proporcionalmente el usuario tendrá la capacidad de acceder a las grandes tecnologías de forma más fácil y así, añadirlas a su cotidianidad (Acosta & Zambrano, 2006). Se detalla también, que el desarrollo de la tecnología actual no sería lo mismo sin la gran tarea que cumplen las GUI, ya que, como bien se ha dicho, facilitan la comunicación usuario-máquina.

Por otra parte, se observa la relevancia del papel que cumplen los dispositivos periféricos (un teclado, ratón, pantalla táctil, etc.). Estos, permiten que el usuario navegue a través de las funciones que el computador tiene para ofrecer, así como perfeccionar la comunicación entre el sujeto y el computador (Crowley, 2014). La usanza diaria de estos periféricos, representa entonces una adaptación que tiene que vivir el usuario ante un nuevo entorno (entorno virtual), donde por medio de estos dispositivos periféricos, es posible la exploración

computacional; y no sólo eso, estos dispositivos ayudan a la generación de nuevas tecnologías y aplicaciones en el ámbito computacional, lo que hace que este ambiente sea actualice constantemente y permite, a la vez que los usuario se comuniquen de la misma forma ante un dispositivo que es cada vez más potente (Duraes, 2016)

Existen dos características que deben cumplir las interfaces gráficas una vez que son desarrolladas, independientemente del soporte que utilicen: 1) es la *Visibilidad*: para que el usuario pueda interactuar con un objeto, este debe ser visible; y, 2) la *Comprensión Intuitiva*: El objeto con el que el usuario deseé interactuar, debe evidenciar las acciones que se deben hacer sobre él y cómo hacerlas, su manejo y funcionamiento dentro del entorno en el que se desarrollan. Estas características se deben tomar en cuenta en todo momento; no sólo en el momento de la comunicación entre un usuario y un sistema de cómputo, sino sobre todo en la generación de prototipos que cumplan estas mismas características, con la finalidad de que el sistema sea aprovechado en su totalidad por aquél que lo utiliza (Acosta & Zambrano, 2006).

En el uso diario, actualmente un computador puede tener una amplia gama de aplicaciones que van desde el ámbito académico, laboral, social, económico o hasta de entretenimiento. En cada una de estas tareas, el computador realiza funciones específicas que son posibles gracias a la ejecución de comandos y operaciones en tiempo real.

Así mismo, encontramos en las GUI la herramienta correcta para la comunicación entre el individuo y el computador. Por lo que, para el desarrollo de la implementación virtual de la prueba neuropsicológica de nuestro interés, es necesaria la elaboración de una herramienta de este tipo, que permita la recreación en un entorno computacional.

Finalmente, como se ha dicho anteriormente, un sistema computacional funciona a base de la ejecución de instrucciones consecuentes, que son determinadas por aquél que desarrolla el programa ejecutado. Para esto, el desarrollador debe diseñar con anterioridad un diagrama de instrucciones, para conocer el orden en que estas se ejecutan y advertir sobre los efectos que tendrá el programa sobre aquel que lo ejecuta. Este tipo de diagramas son conocidos como diagramas de flujo.

2.2.2 Diagrama de Flujo

Un diagrama de flujo es una herramienta de tipo didáctica cuyo objetivo es representar gráficamente un algoritmo o proceso determinado. Por ejemplo: al pintar una casa existen

diversas instrucciones o pasos que deben seguirse en orden consecutivo, para que el trabajo se realice de manera correcta. (Chairman, 1961)

Existen pues, una sucesión de preguntas que el sujeto que debe pintar la casa debe realizarse para cumplir su tarea: ¿La pintura de la casa a pintar está desgastada? Si la respuesta fuese un no, entonces no habría motivo para pintar la casa. Así, cada una de estas preguntas servirá para determinar la siguiente acción a realizar. Determinando así el diseño de un diagrama de flujo, en el cual existen preguntas y respuestas para estas preguntas, como se observa en la figura 3.

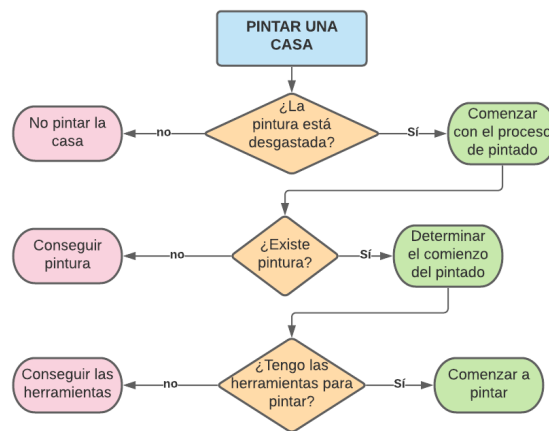


Figura 3: Ejemplo de Diagrama de Flujo

Es importante conocer siempre cuales son las características del sistema que estamos representando mediante el diagrama, cuáles son los resultados de ejecutar ciertas acciones y cuál es el objetivo del proyecto.

Mediante esta sencilla herramienta, el que la utiliza será capaz de simbolizar cada una de las acciones del medio representado, organizar el ambiente en el que trabajará para que las instrucciones previstas sean ejecutadas de una forma correcta y bien implementada (Levine-Gutiérrez, 1990).

De esta forma, conociendo el marco de los mapas conceptuales, nos adentraremos en una parte primordial del diseño de nuestra interfaz gráfica. Al desenvolvemos en un entorno computacional, debemos reconocer cómo este entorno es capaz de emular características que existen en el medio físico. Una de estas características es la aleatoriedad, que abordaremos en el próximo apartado.

2.2.3 La aleatoriedad

Durante siglos, la aleatoriedad ha ocupado un lugar importante en la ciencia y en la filosofía; ha sido estudiada desde muchos puntos de vista, observando fenómenos en los que la aleatoriedad ocupa un lugar importante. La aleatoriedad ha sido parte de la vida científica del ser humano, desde que este comenzó a desarrollar herramientas para crearla (Trujillo & Martín-landrove, 1999).

Sin embargo, aún existe una gran discusión acerca de lo que es verdaderamente aleatorio. Por ejemplo, pensemos en un número del 1 al 10. Como razonamiento central, entendemos que cada uno de los números por elegir tiene una probabilidad neta de 0.1 de ser elegido. En otras palabras, la chance de elegir cualquiera de los números disponibles es una de cada diez. Sin embargo, comúnmente se deja de lado la participación, en este caso del discernimiento humano. Este, inconscientemente puede favorecer la elección de uno de los números, ya sea que para la persona este número representa algo especial en su vida, es favorito o simplemente, porque tiempo antes lo vio aparecer en un entorno particular. Esta distinción de un número sobre los otros nueve nos hace recapacitar en la verdadera probabilidad que presentan cada una de las muestras (en este caso, los números del 1 al 10).

Pongamos otro ejemplo. Suponemos que existe una moneda. Esta tiene dos caras, diferentes entre sí, y es lanzada al aire para suponer un estado de aleatoriedad, en el cual existe un 50% de probabilidad de que caiga una cara, y 50% de que el resultado sea la cara contraria. Sin embargo, este ejemplo puede ser físicamente replicado, ya que las caras de la moneda siempre conservan la misma posición, ésta pesa siempre lo mismo, y el ambiente en el que se lanza al aire puede ser medido. Así, conociendo las características físicas de la moneda, su peso, propiedades aerodinámicas, y utilizando todos estos parámetros para poder controlar el ambiente en el que se lanza la moneda, podemos conocer previamente al lanzamiento con relativa facilidad, el estado final de la moneda. Incluso, si existiera la mínima posibilidad de que esta cayera de forma vertical, podría conocerse.

Es entonces, cuando nos hacemos estas preguntas: ¿Qué es realmente aleatorio? ¿Existe algo aleatorio por naturaleza? ¿Cómo las computadoras son capaces de generar números aleatorios? (Trujillo & Martín-landrove, 1999)

La aleatoriedad, es entonces una propiedad no observable, intrínseca en los modelos que la generan (Bar-Hillel & Wagenaar, 1991). Teóricamente, todo modelo puede asumir

aleatoriedad; sin embargo, sólo se puede inferir directamente a partir de las propiedades de la salida del generador; es decir, analizando el modelo o función que genera la aleatoriedad, podemos reconocer si esta está presente o no. Estos modelos cuyo generador puede partir desde cambios físicos en la materia, modelos matemáticos u otras observaciones que generen aleatoriedad, necesariamente deben ser inspeccionados, en busca de aquello que efectivamente dependa del azar. Esta inspección se basa en someter al modelo a diversas pruebas estadísticas las cuales, aunque necesarias, no son suficientes; ya que las conclusiones basadas en este tipo de pruebas son de naturaleza substancialmente estadística; en otras palabras, no hay pruebas lógicas o físicas que separen lo que es aleatorio o no, los resultados evidencian aquello que es más probable que sea aleatorio (Hardy & Wright, 1983).

Por otra parte, existe una consideración que pretende ayudar a ahondar en aquello que conocemos como aleatorio, y es la percepción de la aleatoriedad. Muchas veces, donde se percibe un patrón, también se percibe significado. Cuando consideramos algo aleatorio, se le atribuye ciertamente al azar; sin embargo, percibir ciertos eventos como aleatorios o no aleatorios tiene una gran importancia en los asuntos de la conducta humana, ya que muchas circunstancias que pueden ser de gran importancia pueden depender de ello. Tal es el ejemplo las bolsas de valores, en las cuales podemos percibir cierto factor de aleatoriedad. Sin embargo, el estudio de estas significa observar patrones en estas tendencias, y con ayuda de estos patrones lograr predecir los precios futuros (Marsaglia, 1985).

De esta forma, reconocemos que la percepción de la aleatoriedad juega un papel muy importante ante la aplicación de la aleatoriedad en el ámbito cotidiano ya que, desarrollando métodos que sugieran aleatoriedad a la percepción humana, podemos utilizarlos a nuestra conveniencia. Burlar a la percepción, es algo relativamente fácil, tal como lo podemos observar, por ejemplo, en la famosa ilusión Müller-Lyer (Fig. II-1), donde se presentan dos flechas que, a simple vista parecen ser una más larga que la otra; sin embargo, ambas flechas son del mismo largo (Charles H., 1995).

Por lo que, durante mucho tiempo se ha perfeccionado en modelos generadores de aleatoriedad, los cuales son capaces de medir su nivel de aleatoriedad y el rango en el que trabajan.

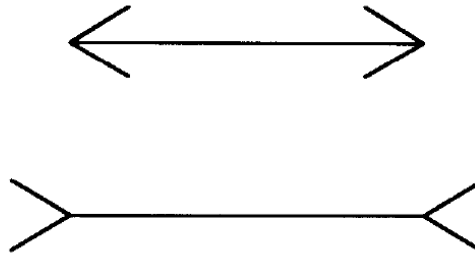


Figura 4: Ilusión Müller-Lyer

Esta generación de aleatoriedad puede ser percibida desde cualquiera de los sentidos; es decir, la aleatoriedad se puede presentar como ruido (auditiva), colores o figuras al azar (visual) o, como texturas las cuales carecen de patrones que puedan ser percibidos (táctil). Por esto, se han desarrollado diversos experimentos que pretenden revisar en la percepción de aquello que es aleatorio, con lo que no es. Existen diversas ramas de la teoría de la aleatoriedad que estudian estos sucesos; por ejemplo: la encriptación fotográfica (de Bonis & de Santis, 2000), la cual estudia esquemas de criptografía visual, donde una imagen secreta es codificada y separada en cierto número de percepciones visuales, cada una de las cuales se entregan a un número determinado de elementos con el fin de que, juntos, logren obtener la imagen original.

Respecto a la definición de aleatoriedad matemática, es evidente que existe poca uniformidad en el criterio para llamar a una serie como aleatoria o no aleatoria; y es que resulta más fácil refutar la presencia de aleatoriedad que probarla (Wagenaar, 1972), lo que se presenta como un problema metodológico. Para refutar la aleatoriedad basta con mostrar un tipo de tendencia sistemática en la serie; mientras que para demostrar que un método es realmente aleatorio, se debe probar que no existe regularidad serial en ninguna de las formas en que esta sea posible.

En el caso de este estudio, se utilizará la aleatoriedad bajo distintas cuantificaciones lo cual permitirá crear una prueba aleatoria, que ofrezca diferentes experiencias de juego a cada uno de los participantes que la apliquen; brinda la posibilidad de crear mazos o conjuntos aleatorios entre sí, para que no se forme ningún tipo de relación entre cada uno de los conjuntos y que el objetivo de la prueba no se vea afectado.

2.2.4 Generadores de Números Aleatorios

Siguiendo este tenor, sobre la creación de métodos computacionales que resulten aleatorios a la percepción humana, mediante las nuevas tecnologías computacionales se han podido crear distintos generadores de números aleatorios, los cuales tienen como objetivo brindar al usuario una secuencia de números que resulten ser aleatorios siempre que se les necesite. Estos números aleatorios, que son creados mediante la sistematización computacional suelen ser llamados pseudoaleatorios (Harrison & Jansson, 1967).

Actualmente, en términos computacionales, los números aleatorios tienen un papel muy importante en las nuevas tecnologías (Harrison & Jansson, 1967). Sirven, por ejemplo y entre muchos otros casos, en el ámbito de la seguridad cibernética, donde una serie aleatoria resulta ser la clave para la encriptación de documentos, registros o demás tipos de archivos que pueda contener una computadora. Por otra parte, la generación aleatoria de números ha resultado ser una gran herramienta en la industria del entretenimiento. Los videojuegos, por su parte, utilizan números aleatorios para decidir sobre el destino del jugador durante una partida, la cantidad de enemigos que tiene que enfrentar, la localización de estos, etc. Otra industria que utiliza de manera continua los números aleatorios es la de los juegos de azar. Los casinos y casas de apuestas cada vez utilizan nuevos mecanismos para el entretenimiento por apuestas; muchos de estos elementos son controlados de manera sistémica mediante computadores los cuales, deben tener la capacidad de generar aleatoriedad la cual se ve reflejada en la experiencia de juego del participante.

Así, son los generadores de números pseudoaleatorios (PRNG, por sus siglas en inglés), quienes brindan una aleatoriedad virtual a todo el ámbito computacional (Harrison & Jansson, 1967). Sin embargo, generar esta característica en una máquina no es tan sencillo como parece. A grandes rasgos una computadora se comporta de la siguiente manera: el usuario introduce valores (los cuales, pueden ser determinados por los dispositivos periféricos, como mouse, teclado, control remoto, etc.), el aparato o máquina realiza una serie de cálculos (los cuales son determinados por medio de instrucciones, que son codificadas previamente mediante distintos lenguajes de programación) y, finalmente, se facilita este resultado al usuario, que sirva como retroalimentación para realizar la función siguiente (Fig. II-5).

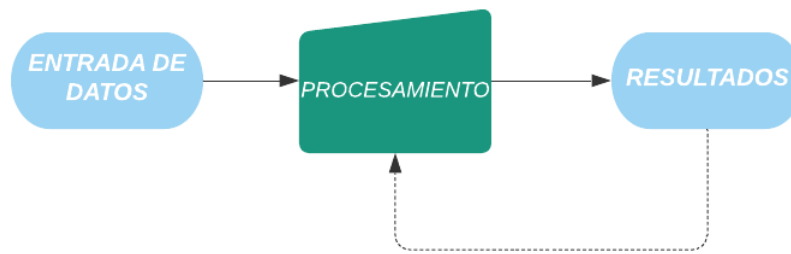


Figura 5: Diagrama de funcionamiento básico de un dispositivo computacional

Bajo este mismo esquema se desarrollan la gran parte de las aplicaciones computacionales, las cuales tienen como fin realizar cálculos con gran rapidez, que aporten directamente a una función determinada, ya sea con fines académicos, científicos o hasta de entretenimiento. De igual forma, en este mismo esquema se realizan modelos matemáticos que tienen como fin generar números aleatorios; sin embargo, como bien podemos observar, la aleatoriedad en un dispositivo de cómputo debe partir siempre desde un valor inicial; este valor, bajo ciertas condiciones es manipulado por la computadora de tal forma que genera un siguiente valor aleatorio, el cual es puesto generalmente ante las mismas condiciones del valor anterior y se genera un siguiente número aleatorio, así sucesivamente. A este proceso, en el que una computadora permite generar valores aleatorios a partir de uno inicial, se le llama Generación de Números Pseudoaleatorios, ya que no parten precisamente del azar, sino de un valor causal. A este valor causal, teóricamente se le llama ‘semilla’ (“seed”, en inglés), y a la función que permite esta generación de pseudoaleatoriedad se le llama, como ya se observó anteriormente, “Generador de números pseudoaleatorios”.

Existen varios métodos computacionales para generar números pseudoaleatorios. Generalmente, esta generación secuencial de valores sigue una distribución (Wei et al., 2008). Entre ellas, podemos encontrar secuencias de números en su mayoría más grandes (de mayor cantidad de bits), o menores (de menor cantidad de bits); existen, de igual forma, algoritmos que generan números a partir de un valor de corte, como si el generador cumpliera su función dentro de unos parámetros previamente establecidos.

Uno de los métodos más utilizados para generar números aleatorios es el método congruencial lineal (LCM, por sus siglas en inglés). Este método es la forma mixta entre el método congruencial de suma y el método congruencial de multiplicación (Wei et al., 2008). Genera número a partir de un operador congruencial en la teoría de números. La fórmula de recurrencia se presenta en la siguiente ecuación:

$$\mathbf{X}_{n+1} = (\mathbf{a} * \mathbf{X}_n + \mathbf{b}) \% \mathbf{m} \quad \mathbf{n} = \mathbf{0}, \mathbf{1}, \mathbf{2} \dots$$

$$\mathbf{R}_{n+1} = \mathbf{X}_{n+1} / \mathbf{m}$$

Ecuación II-1 Ecuación de Recurrencia para el Método Congruencial Lineal (LCM) (Wei et al., 2008).

Donde:

- X , es el elemento semilla
- a , es el número multiplicador
- b , es el elemento de incremento
- m , es el módulo.

Finalmente, podemos utilizar este método generador de aleatoriedad en el siguiente ejemplo:

Utilizando el LCM, se generará una secuencia de números aleatorios tal que $X_0 = 27$, $a = 17$, $b = 43$ y $m = 100$.

Por tanto:

$$X_1 = (27 * 17 + 43) \% 100 = 502 \text{ mod } 100 = 2.$$

De esta forma, a partir de la semilla $X_0 = 27$, el siguiente número aleatorio es 2. Siguiendo con el mismo método, el siguiente número será el 77, el siguiente 52, y así sucesivamente. Así se generará una secuencia de números pseudoaleatorios, la mayoría en un rango que va de 0 a 99.

Otro ejemplo de un generador de números aleatorios es el Generador “Middle square” (cuadrada media). El cual es uno de los mejores y más sencillos métodos de crear números pseudoaleatorios. Este algoritmo matemático fue descrito por John von Neumann en 1949 (Rahimov et al., 2011). La fórmula de recurrencia se presenta en la siguiente ecuación:

$$X_{n+1} = (X_n^2 / 10^k) \text{ mod } 10^{2k}$$

$$R_{n+1} = X_{n+1} / 10^{2k}$$

Ecuación II-2 Ecuación de Recurrencia para el Método de Cuadrada Media (MSM) (Wei et al., 2008).

Donde:

- X_{n+1} es el operador iterativo.
- R_{n+1} es el número aleatorio generado con cada iteración.

La primera sub-fórmula significa que el cuadrado de X_n será desplazado k veces a la derecha, y el bit $2k$ de la derecha será suprimido. Es decir, luego de elevar al cuadrado X_n , se le agregarán ceros a la izquierda las veces que sea necesario hasta expresar el valor en números de ocho cifras (por ejemplo, si el valor inicial es 2310, el valor a utilizar luego será 00002310). Así, la supresión del bit $2k$ significa que utilizarán sólo los valores en las casillas medias (3, 4, 5 y 6).

Finalmente, la segunda sub-fórmula representa que el número de corte será comprimido hasta $1/2k$.

Por ejemplo:

Si $k = 2, X_1 = 1223, X_1^2 = 012495729$; luego $X_2 = 4957, X_2^2 = 24571849$ y así, sucesivamente.

Con estos dos ejemplos podemos ver la utilidad tan importante de los generadores de números pseudoaleatorios; sin embargo, también este tipo de métodos matemáticos presentan sus desventajas. En primer lugar, se observa una característica muy arraigada en los PRNG que no es propia de la aleatoriedad, la repetibilidad. Si el método se ve dispuesto ante las mismas condiciones, generará la misma secuencia de números aleatorios. Esto representa una gran desventaja ante los sistemas de seguridad que necesitan de la aleatoriedad con fines de encriptación; ya que, si se conoce el método por el cual se están generando los números aleatorios y se averigua el número generador (semilla), la secuencia podría ser reproducida en su totalidad, dejando de lado el factor aleatorio.

Por otro lado, existe otro elemento que, en el caso de los dos generadores de números que hemos revisado representa ser su debilidad; este es el periodo sobre el cual funciona el generador. El periodo es la cantidad de números generados en secuencia por el PRNG hasta que alguno se repite, o hasta que llega a su semilla inicial; ya que cuando esto pasa en un generador, este se ve sometido ante condiciones ya utilizadas y, por lo tanto, la secuencia de números se repetirá.

En este estudio, se utilizarán los generadores de números aleatorios para crear un entorno de aleatoriedad virtual, en donde el participante perciba como un primer estímulo, un ambiente que le sugiera ser aleatorio. Sin embargo, esta "aleatoriedad" irá disminuyendo en la percepción del participante en función de la cantidad de elecciones que realice; es decir, con cada elección realizada, el sujeto debe ser capaz de encontrar patrones o

estrategias que le hagan ganar una mayor cantidad de créditos. Finalmente, encontraremos que las retroalimentaciones, a pesar de que están determinadas según los parámetros estadísticos en los que se basó el creador de la escena neuropsicológica, también presentan cierto grado de aleatoriedad. Esto es especialmente importante, ya que en esto se basa el hecho de que, sin importar que los participantes tienen distintas experiencias de juego, todos serán capaces de llegar a las mismas conclusiones.

2.2.5 Generador Mersenne Twister

Dentro de los PRNG, existe uno en particular que, dada la calidad presentada mediante diversos estudios matemáticos y computacionales, presume ser el que virtualiza la aleatoriedad con mayor eficacia. Este PRNG es utilizado en una gran cantidad de ambientes de programación, siendo el predeterminado en al menos 20 lenguajes de programación distintos (Matsumoto & Nishimura, 1998).

Este generador, el Mersenne Twister (MT), fue desarrollado por Makoto Matsumoto y Takuji Nishimura (1998), de la Universidad de Keio. Es conocido por poseer uno de los periodos más grandes registrados en PRNG's, el cuál es de $2^{19937} - 1$. Su distribución es uniforme a lo largo del espacio muestral, usando un área de trabajo de 624 palabras (instrucciones). De igual forma, ostenta ser multidimensional, con un total de 623 dimensiones. Esto quiere decir que, al ingresar un estado inicial X_0 , el PRNG será capaz de generar 623 valores aleatorios distintos, y de uno de estos, determinado de forma aleatoria, obtener otros 623, y así sucesivamente. Esta característica resulta interesante ya que el generador presenta una cierta independencia del valor de entrada, por esta misma razón el periodo calculado en este generador sobrepasa todas las expectativas sobre cualquier generador de números.

Gracias a sus características que lo describen como altamente efectivo en la generación de números aleatorios, este PRNG ha sido la herramienta predeterminada generadora de aleatoriedad en distintos ambientes de programación (C, C++, Java, son sólo algunas de ellos) incluyendo el entorno en donde se programa la prueba de nuestro interés, MATLAB.

Anteriormente se ha explicado el esquema en el que se desarrollan los PRNG; donde se especifica inicialmente una semilla, ésta recibe una serie de 'cambios' por medio de la función generadora y finalmente se llega a un estado 0 (X_0), que subsecuentemente se convertirá en la siguiente semilla (Fig. 6).

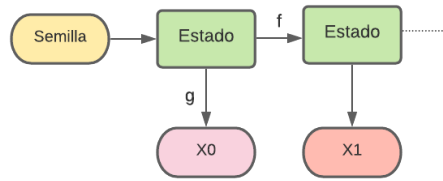


Figura 6: Esquema básico del PRNG

En primera instancia, así es como se ve un generador de números aleatorios. Existe, en primer lugar, un número inicial, llamado 'semilla' (el cual, si se llegara a utilizar nuevamente bajo el mismo sistema, crearía la misma secuencia) el cual, es introducido a una función llamada 'estado'. Este estado, permite la generación de un número aleatorio X_n , el cual se determina mediante una función unidireccional g . Esto quiere decir, que el número inicial es sometido ante una serie de operaciones y manipulado de tal forma que estas instrucciones no pueden ser recursivas, este para que en un futuro no se puedan realizar operaciones que te permitan llegar al estado inicial de la función.

Así, cada vez que se necesite un número aleatorio, se transformará el estado presente en función de f , para que el espectador no sea capaz de reutilizar los estados pasados de la secuencia generadora. Teniendo X_n , se utilizará nuevamente la función g , para crear un estado nuevo que permita generar un nuevo número aleatorio. Esta secuencia se llevará a cabo durante todo el periodo de generación de aleatoriedad, hasta que uno de los números generados X_n sea del mismo valor que alguno de los que hayan sido generados con anterioridad; en este punto, la función g que determina el siguiente caso se repetirá, dando lugar a un bucle donde los números se repetirán continuamente (Wilkinson, 2011).

El generador de números aleatorios MT sigue este mismo esquema, exceptuando: 1) el primer estado no es utilizado como salida de ningún número aleatorio; 2) un estado te permite crear no sólo un número aleatorio, sino 624 números (aunque esto podría expresarse como un gran número aleatorio (de 624×32 bits); y 3) la función por la que son generados cada uno de los estados de aleatoriedad no es unidireccional, lo que significa que es reversible. Esto hace del método MT no apto para fines de criptografía o seguridad.

En la figura (Fig. 7), se detalla de forma gráfica como luce el generador MT.

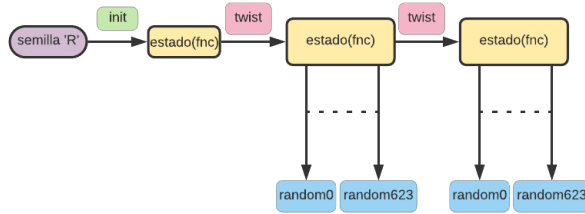


Figura 7: Esquema ilustrativo del generador MT

Desde el punto de vista matemático, el algoritmo está basado según la siguiente recurrencia lineal (Matsumoto & Nishimura, 1998):

$$x_{k+n} := x_{k+m} \oplus (x_k^u | x_{k+1}^l)A, \quad (k = 0, 1, \dots).$$

Ecuación II-3: Ecuación de recurrencia del PRNG Mersenne Twister

Donde:

- N, es el grado de recurrencia.
- k, es el factor iterativo, con el cual se genera la sucesión de números.
- $(x_k^u | x_{k+1}^l)$ es la concatenación numérica resultante que es multiplicada por A (twist), para la obtención de la siguiente sucesión numérica.
- \oplus es el módulo dos, de la suma bit a bit.

De esta forma, se reconoce en el MT como una herramienta de amplia complejidad matemática, que proveerá al programa de un alto nivel de aleatoriedad, no sólo a nivel de experiencia (ya que se asegura que cada participante tenga una distinta experiencia de la prueba), sino también a nivel muestral (las retroalimentaciones también se basarán en este PRNG).

2.3 Marco Estadístico

En el desarrollo de la IGT-Es, son necesarias diversas herramientas de estudio matemático y computacional sobre los cuales se permitirá la implementación de modelos para la virtualización de la prueba neuropsicológica IGT. En el capítulo anterior se habló de la técnica utilizada para revisar la autenticidad de un método aleatorio; por medio de algoritmos o condiciones computacionales, es posible medir el nivel de aleatoriedad que ofrece un PRNG; y, de igual forma, compararlos entre sí para exponer aquellos que resulten más eficaces.

Algo similar sucede con los procesos experimentales en general. Cuando se realiza un experimento, donde las variables que participan en el son del tipo cuantitativo, deben realizarse diversos métodos estadísticos por medio de los cuales el experimentador debe reconocer si sus muestras son significativamente diferentes.

Para describir estos métodos estadísticos, es necesaria la revisión en los términos que los componen, y como estos son desarrollados para obtener una vía que ayude a determinar, por medio del cálculo, si una muestra es diferente a otra u otras, la probabilidad de si existe esta diferencia y a su vez censarla, localizando los puntos concretos en donde se encuentran estas diferencias.

Dentro del análisis de muestras es necesario conocer las características descriptivas que tiene la muestra a analizar, el tipo de estudio que se realizará, el objetivo estadístico, el tipo de variable que arrojará el experimento y, advertir sobre el tipo de distribución que resultará del experimento; por ello, se explorarán en distintos conceptos básicos de la estadística, donde se describirán algunas de estas características, las cuales describirán la muestra de nuestro interés.

Así, se comenzará a describir el concepto de variable aleatoria, de donde parte el comportamiento de un valor que percibe aleatoriedad, no en torno al modo en que se recibe el valor (el cual, en nuestro caso, se determina por el comportamiento del sujeto durante la prueba), sino a nivel estadístico.

2.3.1 Variable Aleatoria

La aplicación virtual de la prueba neuropsicológica IGT tiene varios retos: en primer lugar, exponer al participante ante un estado de concentración que le permita conocer la prueba y contestarla de forma óptima y, por otro lado, recrear los procesos aleatorios que permiten

establecer un estado de incertidumbre inicial, que obligue al participante a aprender de los estímulos que se le presentan. La incertidumbre, a su vez, proviene de dos factores: 1) la falta de experiencia que tiene un participante en cuanto a los estímulos presentados; y, 2) la cantidad de estímulos expuestos.

Cada vez que un participante realiza una elección, se ve expuesto ante un nuevo escenario de posibilidades; estos eventos tienen la característica matemática de ser aparentemente aleatorios, sin embargo, son previamente calculados y se exhiben en un mismo espacio muestral.

Para explicar las características estadísticas que se ven involucradas en la creación de cada uno de los mazos (conjuntos) es necesario revisar en algunos conceptos estadísticos: el primero de ellos será la variable aleatoria.

La variable aleatoria es una función, que asocia un número real con cada elemento de un espacio muestral determinado (Walpole, 2012). Por ejemplo: En una fábrica de dispositivos electrónicos, al probar tres elementos a la vez, el espacio muestral ofrece una descripción de cada posible resultado, el cual se describirá como:

$$S = \{NNN, NND, NDN, DNN, DND, DDN, DDD\}$$

Donde N denota “no defectuoso”, y D , “defectuoso”. Obsérvese a su vez, que cada una de las opciones se desarrollan en un espacio discreto; es decir, cada una de las opciones está bien definida y no puede existir un resultado fuera del espacio muestral.

Dentro del IGTTask-Es, el concepto de variable aleatoria se aplica principalmente en dos escenarios: 1) en la creación de los espacios muestrales de cada mazo, ya que cada uno de ellos contiene en sí sus propias características estadísticas. Como se observará en el marco Metodológico (C. IV), anterior a la prueba se determinan los rangos en que las retroalimentaciones aparecerán en cada conjunto; en otras palabras, se dispondrá el espacio muestral. Este espacio se desarrollará bajo un sistema de distribución normal continua, siguiendo las características de la prueba original, y finalmente se dispondrán cada uno de los valores a elegir por el participante.

2.3.2 Distribución de Probabilidad Normal Continua

Una variable aleatoria continua es aquella cuya distribución de probabilidad (o espacio muestral) no se puede presentar de forma tabular (tal como se aprendió en el concepto anterior) ya que, la probabilidad de que se adopte exactamente un mismo valor dos veces

consecutivas es igual a 0 (Walpole, 2012). Por ejemplo: si se pide elegir un número cualquiera entre 0 y 1, existe la misma probabilidad de elegir 0.9, como si se elige 0.99. Obsérvese, que la cantidad de números a elegir resulta ser infinito y, por lo tanto, se reconoce la premisa anterior: la probabilidad de escoger un valor determinado es 0. Por lo tanto, para calcular una probabilidad determinada, esta se ha de referir en función de intervalos dentro del espacio muestral, en lugar de valores puntuales.

Por ejemplo, si nos interesamos por el cálculo de probabilidades para varios intervalos de variables aleatorias continuas como $P(a < X < b)$, $P(W \geq c)$, etc. Observe que cuando X es continua,

$$P(a < X \leq b) = P(a < X < b) + P(X = b) = P(a < X < b)$$

Ecuación II-4: Cálculo de probabilidades continuas (Walpole, 2012)

Es decir, no importa si se incluye o no un extremo del intervalo, ya que como se indicó anteriormente, la probabilidad de que exista un valor puntual es 0. O, en otras palabras $P(X = b) = 0$.

Aunque la representación de este tipo de variable no pueda ser de forma tabular, sí es posible plantearla como una fórmula, la cual será, necesariamente función de los valores numéricos de la variable aleatoria continua X , y como tal se representará mediante la notación $f(x)$.

Al hablar de variables aleatorias continuas, se habla necesariamente de densidad de probabilidad, las cuales son determinadas por la función $f(x)$. Ya que X que es definido como un espacio muestral continuo, es posible que $f(x)$ tenga un número finito de discontinuidades; sin embargo, existen numerosas funciones de densidad que tienen aplicaciones prácticas en el análisis de datos estadísticos. Estas funciones, como bien se ha supuesto son continuas y sus gráficas pueden tomar cualquier forma. Como se utilizarán áreas para la representación de probabilidades, y éstas son valores numéricos positivos, la función de densidad debe caer completamente sobre el eje de las abscisas (eje de las x) (Walpole, 2012).

En este apartado, se observará con mayor detenimiento en la función de probabilidad normal continua, que, aparte de ser la más importante en el campo de la estadística en general, en ella se basa el cálculo de retroalimentaciones dentro de la IGTASK-Es.

La gráfica que determina a esta distribución es comúnmente denominada como curva normal. Esta describe de manera aproximada muchos fenómenos no sólo ocurridos en la naturaleza, sino también en la industria o en la investigación. Esta densidad también conocida como distribución gaussiana, está definida por una ecuación, la cual depende de los parámetros μ y σ , media y desviación estándar respectivamente. Por ello, se denotan los valores de densidad X por $n(x; \mu, \sigma)$.

Así, la densidad de la variable aleatoria normal continua X , con media μ y varianza σ^2 , se describe como:

$$n(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

Ecuación II-5: Densidad de probabilidad de la variable aleatoria continua

Donde:

- μ es la media del espacio muestral.
- σ es la desviación estándar (siendo la varianza σ^2).
- π es el número 'pi' ($\pi = 3.14159 \dots$).
- e es el número de Euler ($e = 2.71828$).

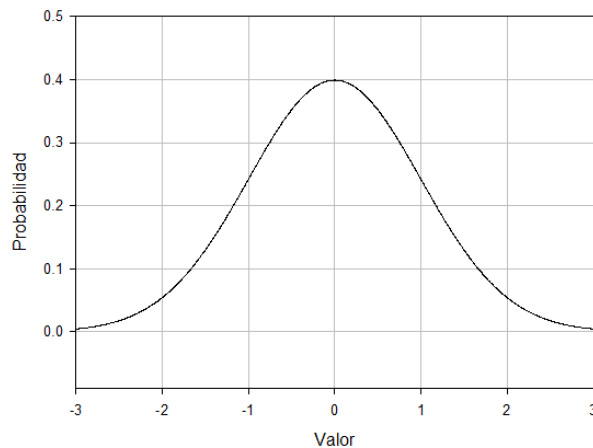


Figura 8: Curva de distribución Normal

De esta forma, se observa en la figura 8, donde $\mu = 0$, y $\sigma = 1$, que los puntos de inflexión de la distribución están determinados por $\mu \pm \sigma$, ya que en estos puntos están localizados la mayor cantidad de muestras.

Observamos también que, el valor de μ determina el punto en el que se centrará la curva y, en la medida en que el valor de σ aumenta, la curva se volverá más extendida y aplanada. Esto se muestra en la figura 9, donde $\mu_1 = \mu_2$ y $\sigma_1 < \sigma_2$.

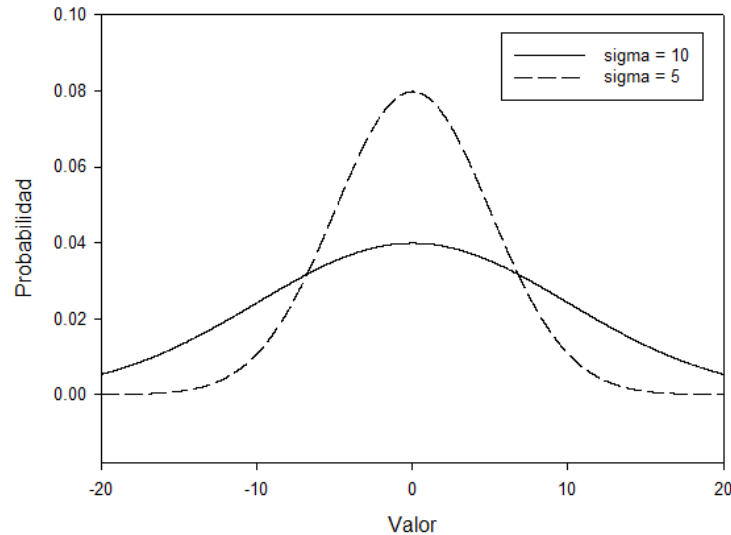


Figura 9 Curvas de distribución Normal, donde $\sigma_1 < \sigma_2$.

Con esta herramienta, durante la aplicación de la prueba IGTASK-Es, se pretende variar los estados de las retroalimentaciones que obtendrá el sujeto; por ejemplo, para el mazo A, las retroalimentaciones positivas se establecerán con una media $\mu = 200$ y una desviación estándar $\sigma = 10$; por lo tanto, cuando el participante elija el mazo A y este exprese una retroalimentación positiva, esta aparecerá en un rango entre los 190 y 210 créditos.

Nótese, finalmente, que este concepto sólo se aplica delimitando las retroalimentaciones de cada uno de los mazos, creando un espacio muestral discreto (de 100 elecciones) a partir de uno continuo. Así, se verifica que los estímulos presentados en la prueba IGTASK-Es sean semejantes a los de la metodología utilizada en la prueba original (Bechara et al., 1994). Asimismo, la distribución normal nos servirá en un futuro para analizar la cantidad de elecciones significativas (o de ventaja) realizadas por el sujeto de prueba.

De igual forma, para el estudio y revisión de resultados será necesaria la implementación de métodos estadísticos que permitan examinar las muestras tomadas; ya sea por cada individuo o de forma poblacional. Existen pues, algunos métodos en los que se pueden comparar muestras a nivel estadístico para verificar si existen diferencias

significativas entre ellas. Se observarán principalmente tres técnicas: el estudio ANOVA, la prueba T y el estudio Wilcoxon. El primero se presentará en el siguiente apartado.

2.3.3 Estudio ANOVA

El estudio ANOVA (por sus siglas en inglés, 'Analysis Of Variance'), conocido también como análisis factorial, fue desarrollado en 1930 por R. A. Fisher (F. & Fisher, 1931; Taylor et al., 2012) orientado a su área de investigación, la biología, y constituye una de las técnicas más utilizadas y valiosas para la Inferencia Estadística. Es el método más básico para el estudio de observaciones que dependen de uno o varios factores.

La idea básica del ANOVA consiste en analizar la variabilidad total observada en una serie de términos, asociados a los efectos de cada factor estudiado y a sus posibles interacciones, más una parte residual, con la que después se pueden comparar las primeras para investigar su posible significación estadística.

Como método de inferencia, la ANOVA, al igual que otros métodos estadísticos, plantea dos tipos de hipótesis, según un número k de poblaciones:

- H_0 : donde las medias son iguales; es decir $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
- H_1 : donde al menos dos de las medias no son iguales.

De esta forma, según los cálculos realizados posteriormente, podremos rechazar alguna de las hipótesis, según la probabilidad de que su antónima sea aprobada. Este método supone una dicotomía de solución: la hipótesis nula sólo puede ser rechazada o aprobada. Esta bifurcación se determinará según distintos cálculos que se describirán a continuación. Existen 4 pasos fundamentales en el desarrollo del algoritmo estadístico que representa la ANOVA: a) sumar, b) promediar, c) calcular y d) comparar (F. & Fisher, 1931).

Finalmente, antes de describir el método cabe destacar que existen diversos tipos de ANOVA, que dependen de la cantidad de categorías que una variante puede tener. Estas categorías son las variables cualitativas, las cuales, en nuestro caso será sólo 1, el tipo de elección que realiza el sujeto: ya sea una elección de ventaja o de desventaja. Así describimos los pasos mediante los cuales se realiza una tabla ANOVA, explicaremos su interpretación y su uso en diversas aplicaciones.

Para comenzar a realizar una ANOVA, el primero de los pasos es realizar distintas sumas, las cuales se ejecutan dentro de la muestra de datos. Existen tres conjuntos, sobre

los que se basa la práctica de la ANOVA: 1) de regresión; 2) del error y 3) Total (F. & Fisher, 1931).

Por tanto, la primera de las sumas es la 'Suma de Cuadrados de Regresión' (SCR), que matemáticamente se expresa como:

$$SC_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

Ecuación II-6: Ecuación SCR, para el ANOVA.

La siguiente suma, es la 'Suma de Cuadrados del Error' (SCE), la cual se expresa como:

$$SC_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Ecuación II-7: Ecuación SCE, para el ANOVA.

Finalmente, existe la 'Suma de Cuadrados Total' (SCT), que se representa con la ecuación:

$$S_{yy} = SC_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Ecuación II-8: Ecuación SCT, para el ANOVA.

Donde:

- \hat{y}_i corresponde a cada uno de los valores obtenidos a partir de la ecuación de regresión lineal.
- y_i representa cada valor de la variable dependiente y,
- \bar{y} establece el promedio de los valores de la variable dependiente.

Cada una de estas sumas, representa un índice de variabilidad de parte de la muestra para con sus homólogas. Analicemos un ejemplo: En una muestra agrónoma, se desea conocer los efectos que la variedad cultivada y la dosis de abonado tienen sobre el rendimiento de un cultivo de trigo. Se compararán dos variedades de plantas (A y B) y tres dosis de abonado (10, 20, y 30 kg. De N por Ha.). Se disponen 12 parcelas similares, y se plantarán dos parcelas con cada una de las 6 combinaciones posibles de variedad y dosis (Walpole, 2012).

En este caso, existen 6 tratamientos posibles en dos parcelas distintas, por lo que el conjunto de los resultados de las 12 muestras, constituyen los datos disponibles para el estudio. El espacio muestral 1, se muestra a continuación:

Tabla 1 Muestra de datos, para el estudio ANOVA

		ABONADO					
		1		2		3	
VARIEDAD	1	20	20	20	20	20	20
	2	20	20	20	20	20	20

Se observa en la muestra, que los datos obtenidos en la observación resultaron ser uniformes equitativamente, un fenómeno cuya probabilidad de existir, como se describió con anterioridad a la probabilidad continua, es de 0. Este fenómeno, nos hace reflexionar que, no importando la dosis del abonado, o la variedad de la planta, el resultado es el mismo. Ahora, para realizar el estudio ANOVA, calculamos la suma de cuadrados totales:

$$S_{yy} = SC_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = (20 - 20)^2 + (20 - 20)^2 + \dots + (20 - 20)^2 = 0$$

Ecuación II-9: Ecuación SCT, ejemplificada.

En este cálculo, como podemos observar, demuestra el nivel de influencia del rendimiento medio de la muestra total (en este caso, 20) a través del espacio muestral, cuyo valor era igual. Por tanto, cuando una muestra tiene los mismos valores sin importar los subgrupos a los que pertenece, se determina que la suma de cuadrados totales es no influyente, y por lo tanto, no existe cambio en el espacio muestral.

Observamos pues, que mientras más valores existen que no sean iguales a la media, aunque cercanos, estos influyen en el valor final de la suma de cuadrados, lo que demostrará un mayor nivel de varianza. Al analizar la varianza, se observa que este fenómeno depende del nivel de variedad categórica: en otras palabras, si existiera un mayor número de tipos de abonado, o una mayor variedad en la planta estudiada, la suma de cuadrados total (y con ello la varianza dentro de la muestra) sería aún mayor.

Como siguiente paso para la realización de una ANOVA, se encuentra el cálculo de promedios. Este cálculo se realiza dependiendo de los grados de libertad correspondientes

al espacio muestral, estos se subdividen en los mismos términos anteriores: de la regresión, del error y del total; por lo que los grados de libertad se definen como:

- Grados de libertad de la regresión:

$$GF_R = k$$

- Grados de libertad del error:

$$GF_E = n - k - 1$$

- Grados de libertad totales:

$$GF_T = n - 1$$

Donde:

- n es el número de muestras y k es el número de variables independientes.

En esta nueva variable observamos que, los grados de libertad dependen directamente tanto del número de observaciones realizadas como a la cantidad de grupos observados, por lo que una mayor muestra, permitirá un grado de libertad mayor y, por tanto, estadísticamente será más significativo (Taylor et al., 2012).

Finalmente, los grados de libertad nos permitirán calcular el valor del cuadrado medio, por medio de una división, tal que:

- Cuadrado medio de la regresión:

$$CM_R = \frac{SC_R}{k}$$

Ecuación II-10: Ecuación CMR, para el ANOVA.

- Cuadrado medio del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{n - k - 1}$$

Ecuación II-11: Ecuación CME, para el ANOVA.

Como se puede observar, estos datos resultan importantes ya que ayudan a comprobar el grado de variabilidad existente entre el dominio lineal (calculando desde la regresión) y el dominio discreto (calculando desde el espacio muestral). Analizando gráficamente, este tipo de estudio se compara al nivel de dispersión de una cantidad de datos determinada, respecto a una recta, donde el nivel de variabilidad se mide principalmente según la distancia de las muestras, respecto a la línea central.

Como siguiente paso, se calcula el valor de F, el cual se establece como:

$$F_{CALC} = \frac{CM_R}{CM_E}$$

Ecuación II-12: Ecuación para el cálculo del valor crítico (F), para el ANOVA

Este valor representa finalmente el grado de aceptación de variabilidad de la muestra, donde se comparan finalmente los cuadrados medios de la regresión y lineales. F_{CALC} servirá en el paso final para realizar la comparación entre los valores F_{CALC} y F_{CRIT} , para determinar si la hipótesis nula, es rechazada o aceptada.

Por lo que, el paso final en el cálculo del ANOVA es tal que:

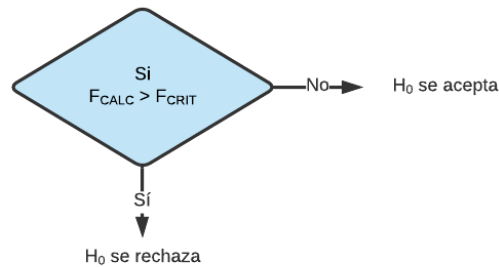


Figura 10: Sentencia final del ANOVA, entre F_{CALC} y F_{CRIT} .

Según el esquema de la figura, en el caso en el que F_{CALC} resulte mayor a F_{CRIT} , la hipótesis H_0 será rechazada, lo que denotará diferencias significativas entre dos o más de las medias de la población k . Por otro lado, si el valor crítico resulta ser mayor al calculado, la hipótesis H_0 será aceptada, demostrando que existe una probabilidad mínima (valor p , comúnmente del 5%) de que existan diferencias significativas entre las muestras de la población k .

Comúnmente, existe una forma tabular en la que el ANOVA se organiza, para una visualización rápida de los elementos numéricos que la componen. A continuación, en la Tabla 2 se muestra tal catálogo de cálculos y cómo estos llegan al valor final de F.

Tabla 2 Tabulación de los datos para el estudio ANOVA.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F
De la regresión:	$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	K	$\frac{SC_R}{k}$	$\frac{CM_R}{CM_E}$
Del error	$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$	n - k - 1	$\frac{SC_E}{n - k - 1}$	
Del total:	$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	n - 1		

Mediante este estudio, utilizado en investigaciones en diversos campos de la ciencia, la comunidad científica ha tenido la oportunidad de valorar muestras del orden cuantitativo, y conocer la forma en que la muestra interactúa entre sí, de tal forma que puedan conocerse las diferencias, no sólo en el medio individual, sino también poblacional. También sirve como herramienta que confirme el análisis observacional, donde se proporciona una herramienta matemática y estadística para la confirmación o rechazo de hipótesis que enmarquen una investigación.

De la misma manera, se presentará a continuación la prueba T, otro método estadístico para el análisis de muestras cuantitativas.

2.3.4 Prueba T (T- Test)

La prueba T es un tipo de estudio estadístico, desarrollado por William Sealy Gosset (auto apodado Student), (Student, 1908) que se utiliza para comparar las medias de dos grupos (Potochnik et al., 2015) . Es uno de los estudios más utilizados entre los estudios estadísticos los cuales se basan en la resolución de una hipótesis (estadística inferencial). Como se ha observado con anterioridad, existen dos tipos de métodos de inferencia en esta rama de la estadística: i) los métodos paramétricos y los no paramétricos.

Los primeros, son del conjunto de estudios donde la muestra debe satisfacer ciertas condiciones para ser aplicado; estas condiciones son la normalidad de la distribución, una varianza ecuánime e independencia entre las variables estudiadas. Cuando no existe una o más de estas características, es más recomendable utilizar el segundo tipo de métodos: los no paramétricos.

Las pruebas T se dividen en dos tipos: existen las “pruebas T independientes”, que son utilizadas cuando los grupos (generalmente 2) se ponen en comparación, son independientes el uno del otro; y las “pruebas T pareadas”, que se usan cuando los grupos en comparación dependen el uno del otro.

Pongamos un ejemplo. Una “prueba T independiente” es aplicada en un caso, donde los sujetos experimentales son divididos en dos grupos independientes: A y B. Estos grupos tienen distintas características, que pueden ser físicas, químicas, fisiológicas, etc.; dependiendo del estudio realizado. Por lo que, teniendo ambos grupos, se decide que todos y cada uno de los sujetos son expuestos a un estímulo determinado. Así, se tendrán dos tipos de muestras para cada grupo: pre-estímulo y post-estímulo. Nótese, que pre y post-estímulo son variables cuantitativas que surgen de un mismo grupo; sin embargo, son diferentes e independientes entre sí (Efron, 1969).

Por otra parte, una “prueba T pareada” se utiliza donde existe una población de sujetos (N) que se exponen a un estímulo A, (entonces se hacen cálculos pre-A y post-A) y, cuando los efectos de este desaparecen en N, entonces se exponen ante un estímulo B (donde, de igual forma se hacen cálculos pre-B, y post-B). Nótese que, en este caso, aunque ambos estímulos se aplican a una misma población, estos no la afectan al mismo tiempo y por eso son independientes entre sí; lo que los hace dependientes es el hecho de que son aplicadas a una misma población, todos con las mismas características y diferencias los unos de los otros, por lo que se infiere la dependencia de ambos estímulos a estas características de la población.

En el caso de nuestro estudio, se tiene una población N, la cual es puesta ante una serie de estímulos de forma continua y, lo que se quiere llegar a comprender es el cambio neuropsicológico que producen en el sujeto estos estímulos, por lo que deben ser comparados en función del tiempo; es decir, cuanto más tiempo se ve el sujeto expuesto a la prueba, mayor aprendizaje de esta tendrá y, por lo tanto, los cambios neuropsicológicos serán más evidentes. Por este hecho, de que una sola población es estudiada ante distintos estímulos la prueba T utilizada será la de tipo pareada.

Para conocer más a fondo una prueba estadística, se deben tener en cuenta distintos aspectos del contexto estudiado, ya que de esto dependerá un buen análisis y una correcta conclusión argumental. En principio, se debe reconocer que, ante todo experimento que implique un análisis cuantitativo, existe un factor estadístico: el o los sujetos experimentales,

que describen ciertas características que los hacen ser parte de un grupo seleccionado, son expuestos ante estímulos los cuales, tienen como objetivo generar variaciones en el grupo experimental. Estas variaciones, según sea el sujeto, tienen la probabilidad de pertenecer a un cambio muestral ya determinado. Por ejemplo: ante un sujeto X, que es expuesto al estímulo A, los cambios generados por el estímulo pueden ser enumerados de entre 0 (donde no existió cambio alguno) y 10 (donde el cambio fue tan radical como era posible). Estas alteraciones, siguen por lo general un tipo de distribución, que, en el caso de nuestro estudio, siguen a la distribución normal (véase 2.3.2).

Para el estudio de una muestra que se distribuye con normalidad, es necesario conocer la media y la distribución estándar de la misma, para conocer a grandes rasgos, el comportamiento básico del estudio y los resultados que se esperan tener. En el caso de la prueba IGT, se ha señalado anteriormente que, el comportamiento de los sujetos experimentales (en este caso, todos sujetos control) se encuentra subordinado a la cantidad de elecciones que realizan; por ello, las elecciones de ventaja se verán en aumento durante la prueba, cosa contraria a las elecciones de desventaja.

Este estudio, al igual que en el estudio ANOVA, se analiza bajo dos condiciones, las cuales son dicotómicas entre sí; es decir, una se excluye de la otra y viceversa. Estas condiciones son llamadas hipótesis, y se describen representando las vías de comportamiento del espacio muestral.

En este caso, se describe H_0 como la hipótesis nula, donde todas las medias poblacionales son semejantes entre sí; y H_1 es la hipótesis alterna, donde al menos una de las medias analizadas resulta ser significativamente distinta a las demás.

Entonces, la prueba T nos ayudará a analizar las medias de los grupos analizados, y reconocer si existen diferencias significativas entre ellas, y qué tan significativas son estas diferencias. Esto se logra mediante el análisis del valor T.

El valor T se describe tal que:

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación II-13: Cálculo del valor T, para la prueba T.

Donde:

- \bar{X}_n es la media de la muestra,
- S_n es la desviación estándar de la muestra, y
- n es el tamaño de la muestra.

Nótese, que el valor de T es una comparación entre la varianza entre los grupos analizados y la varianza dentro de los grupos analizados, esto con el objetivo de analizar no sólo los valores medios de la población, sino como estos se distribuyen en la normalidad y si estas distribuciones se interfieren (llamado ruido) a un grado significativo.

De esta forma, para cada valor de T existe un valor de p, el cual representa la probabilidad de que el patrón producido por la muestra pueda ser producido o no por datos aleatorios; en otras palabras, señala si la diferencia entre los grupos analizados es real o si es sólo una casualidad. Para conocer el valor de p, una vez calculado el valor de T, ya conociendo los grados de libertad de la muestra, se utiliza una tabla T (anexo 7.1), la cual contiene el valor de p para cada valor de T, y sus grados de libertad. Un valor p de 0.10 significa que existe una probabilidad del 10% de que los datos no sean significativamente diferentes o, 90% de que sí tengan una diferencia significativa. En la mayoría de las investigaciones, se considera confiable un valor p de 0.05.

El valor de p asociado al valor T, dependerá de la cantidad de muestras que existen en los grupos estudiados, llamados grados de libertad.

Los grados de libertad se calculan tal que:

$$GL = n_1 + n_2 - 2$$

Donde n_x es la cantidad de puntos experimentales de cada grupo.

Nótese, que una mayor cantidad de muestras hará más fácil la detección de diferencias significativas. Un buen muestreo ayuda a la precisión del estudio; sin embargo, disminuye el beneficio de forma exponencial. En el caso de la prueba T, una muestra de entre 20 a 30 puntos de datos en cada grupo se cree suficiente para un buen manejo del algoritmo ya que, si la muestra es demasiado pequeña, es posible que no tenga el poder estadístico para detectar diferencias que resulten significativas al estudio realizado.

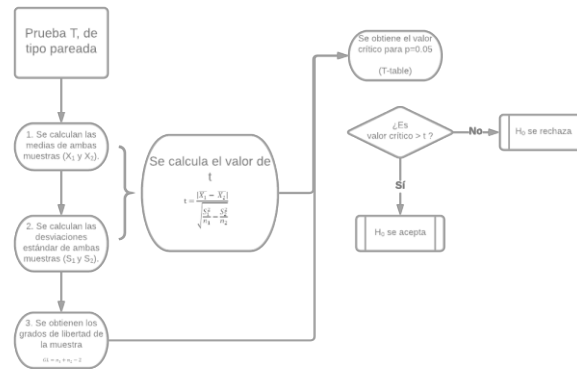


Figura 11 Descripción del proceso de una prueba T, para variables no independientes.

De esta forma, en el diagrama (Fig. 11) se describen los pasos a realizar para el cálculo del valor de T y su relación con el rechazo o aceptación de H_0 . Finalmente, podemos concluir que el estudio de la prueba T será de utilidad en el análisis poblacional de la IGTASK-Es, ya que tendremos acceso a una comparación fácil de elecciones y se reconocerá la significancia de las diferencias entre dos grupos de muestras.

A continuación, y para finalizar el capítulo, se describirá el último de los métodos estadísticos utilizados en el análisis de la prueba IGT, la prueba de Wilcoxon.

2.3.5 Prueba de Wilcoxon

Siguiendo con el tenor de las pruebas estadísticas, se muestra la prueba de Wilcoxon, la cual fue desarrollada por el químico y estadístico estadounidense Frank Wilcoxon (1947). Este estudio, es una prueba de tipo no paramétrica que analiza dos muestras que no son independientes y es el equivalente estadístico a la prueba T de student. La idea básica consiste en determinar la frecuencia con la cual el valor de un miembro de un par (población A) es superior al valor del otro miembro del par (población B) (Lam & Longnecker, 1983).

Por ejemplo: cuando se analiza una muestra por medio de un estudio estadístico inferencial, este depende de muchos factores: los valores de la media, mediana, desviaciones estándar, etc. Y, con la ayuda de estos podemos determinar si las muestras analizadas tienen una diferencia que aparenta ser significativa, según la cantidad de puntos analizados (grados de libertad); sin embargo, muchas de las veces no sólo queremos saber si las poblaciones aparentan diferencia, sino también necesitamos cuantificar esa diferencia, y si esta se desarrolla de forma ascendente o descendente.

La prueba de Wilcoxon, como se ha visto, es el equivalente a la prueba T de student para muestras emparejadas (Harris & Hardin, 2013); con la diferencia de que ésta se aplica

a muestras que cuya distribución no necesariamente es normal. En el caso de la prueba neuropsicológica IGT, la prueba de Wilcoxon ha sido utilizada para conocer el grado de paridad entre muestras estudiadas (Dunn et al., 2006; Ernst & Paulus, 2005; Li et al., 2010).

El planteamiento de hipótesis sucede de la misma manera que en las pruebas anteriores, donde H_0 refiere a la igualdad de las medias analizadas, y por tanto no existen diferencias significativas, y H_1 (en algunas fuentes H_a) refiere a que existe diferencia entre por lo menos dos de las medias de la muestra total.

El procedimiento de la ejecución de la prueba de Wilcoxon es matemáticamente más sencillo a las anteriores, se describirá por medio de pasos teniendo en cuenta el cálculo de variables según se haría con los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba IGT. Lo primero que hay que tener en cuenta, al igual que en los ejemplos anteriores, es la determinación de las variables analizadas. En este caso, se examinará la cantidad de elecciones de ventaja, junto a la cantidad de elecciones de desventaja, realizadas en un segmento de la prueba, llamado cuartil.

Lo primero a realizarse para realizar una prueba de Wilcoxon, es calcular la diferencia cuantitativa entre cada uno de los puntos dependientes de la muestra. Por ejemplo: si se tienen las siguientes muestras (Tabla 3), se calcula la diferencia mediante:

$$d = A_n - B_n$$

De tal forma, que los resultados se expongan tal como en la Tabla 3:

Tabla 3 Muestra para el análisis de la prueba de Wilcoxon (datos no significativos).

Ventaja (A)	Desventaja (B)	d
14	11	3
15	10	5
11	14	-3
10	15	-5
16	9	7
12	13	-1
9	16	-7
12	13	-1
7	18	-11
12	13	-1
11	14	-3
6	19	-13
9	16	-7
12	13	-1
12	13	-1

Nótese, que la suma entre A_n y B_n es siempre 25, y corresponde al segmento estudiado de la prueba; es decir, se estudian 25 elecciones, cada una de las cuales debe pertenecer a alguno de los conjuntos establecidos (de ventaja o de desventaja).

Como siguiente paso, corresponde asignar una posición ordinal a cada uno de los valores de d , omitiendo el signo que le precede. Este proceso expondrá con la letra r (de rango). Por lo que, siendo 1, el valor más pequeño le corresponderá la posición 1. Nótese que, en el caso de la muestra estudiada, existen distintas casillas d con valor de 1. Por lo que su posición se determinará tal que:

$$r_i = \frac{d_{n1} + d_{n2} + \dots + d_{nt}}{t}$$

Ecuación II-14: Cálculo de R , cuando existen muestras repetidas.

Donde:

- $d_{n1} + d_{n2} + \dots + d_{nx}$ son los valores que se ven repetidos.

- t es la cantidad de valores repetidos.

En este caso, tenemos tres valores de 1, que sumados dan 3 y divididos entre la cantidad de valores dan nuevamente 1. Esta será la posición que ocuparán cada uno de los valores. Siguiendo este procedimiento, la muestra se describe en la Tabla 4:

Tabla 4 Muestra con las diferencias y rangos determinados, para la prueba de Wilcoxon (datos no significativos).

Ventaja (A)	Desventaja (B)	d	r
14	11	3	7
15	10	5	8.5
11	14	-3	7
10	15	-5	8.5
16	9	7	11
12	13	-1	1
9	16	-7	11
12	13	-1	1
7	18	-11	12
12	13	-1	1
11	14	-3	7
6	19	-13	13
9	16	-7	11
12	13	-1	1
12	13	-1	1

El siguiente paso es identificar qué signo numérico escasea más entre los valores de d , el cual en la muestra analizada es el signo positivo (+). Por lo tanto, para determinar el valor de t , se seleccionarán los valores de r que corresponden a aquellos en d con signo positivo, y se sumarán. Dada esta instrucción se obtiene que:

$$t = 7 + 8.5 + 11 = 26.5$$

Teniendo este valor de t , al igual que en la prueba T , existe una tabla mediante la cual se obtiene el valor crítico de la muestra (anexo 7.2), según los grados de libertad y el nivel de significancia de la prueba (que como en el caso anterior, se tomará igualmente $p = 0.05$).

Según esta tabla, el valor crítico para nuestra muestra es de 25 por lo que, finalmente se realiza la comparación: si t es menor que el valor crítico, H_0 se rechaza; por el contrario, si t es mayor que el valor crítico calculado (el cual es nuestro caso), H_0 se acepta. Por lo que se reconoce que la muestra analizada durante esta exposición no presenta deferencias estadísticamente significativas, según la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

Expuestos los términos teóricos de esta investigación, es necesario hacer una recopilación de antecedentes para conocer los términos en los que se ha utilizado la IGT de forma eficiente y las conclusiones en la que ha aportado información determinante. Esta proposición tiene como objetivo contextualizar las circunstancias en las que se ha trabajado con la IGT, desarrollando distintas derivaciones de la prueba y evolucionando hasta manifestarse de la forma en la que lo hace actualmente. Asimismo, se expondrán claros ejemplos en los que se ha realizado una transformación de pruebas neuropsicológicas al ambiente computarizado, reconociendo así la importancia del equipo computacional al momento de aplicar pruebas neuropsicológicas.

III. ESTADO DEL ARTE

La prueba Iowa Gambling Task (IGT) ha tenido una gran participación entre las investigaciones cuyo objetivo es revisar el nivel de deterioro causado por anomalías en la corteza prefrontal, especialmente la sección ventromedial (VMPFC, por sus siglas en inglés), la cual se encarga, entre otras tareas, de tomar decisiones. Esta ha sido aplicada para diversos estudios en el área de la neurociencia, psicología y neuropsicología, ante pacientes de diversos tipos para lograr ver su comportamiento y eficacia ante la detección de este tipo de anomalías ejecutivas. Una de las características que hacen que esta prueba sea altamente aprovechable es la condición moldeable de las variables que la componen; ya que, alterando los parámetros que definen a cada uno de los mazos, se puede innovar respecto a la experiencia del usuario y valorar las características del comportamiento que emerge de estas modificaciones.

Asimismo, la aplicación de pruebas neuropsicológicas computarizadas, desde un punto de vista analítico, se ha convertido en una necesidad por parte de la comunidad científica. Aportar herramientas a los especialistas para utilizar los dispositivos computacionales como medios de experimentación es una parte fundamental en el área de la investigación, ya que esto permite utilizar al mismo tiempo otro tipo de técnicas elegidas para el estudio del comportamiento, sin que esto interfiera en el análisis y resultado de los parámetros a evaluar en las pruebas neuropsicológicas aplicadas. Por esto, diversas investigaciones se han dedicado a explorar y crear nuevos métodos matemáticos que logren recrear de manera virtual la aplicación pruebas neuropsicológicas.

A continuación, se presentarán algunas de las investigaciones que han utilizado a la prueba IGT para analizar a pacientes experimentales, se revisarán los estudios complementarios que ha tenido esta prueba, las nuevas variantes propuestas y el uso de registros biométricos que complementen al resultado obtenido por la IGT.

Por otra parte, se estudiarán diversas aplicaciones de la virtualización de pruebas neuropsicológicas con algunos ejemplos de ellas, su aplicación y diversificación en el área de la neurociencia y su repercusión histórica como herramientas de estudio.

3.1 Prueba IGT, diversas versiones y aplicaciones

El ser humano, al ser un ente partícipe de la evolución, ha desarrollado con el pasar de los años distintas técnicas, tanto físicas como neurológicas, para sobrevivir al entorno en el que vive. Esto ha significado saber adaptarse ante los nuevos escenarios y elegir aquello que más le favorece a corto, mediano y largo plazo; esta destreza ha sido modulada y perfeccionada por el humano con las experiencias históricas obtenidas y, finalmente, colabora al objetivo del ente que evoluciona: adaptarse y sobrevivir.

Por otra parte, la experiencia de la incertidumbre siempre ha sido parte de la cotidianidad humana. En el contexto empírico nuestros ancestros consideraban que los cambios del clima se debían a una fuerza sobrenatural, ya que entendían que este fenómeno era algo que no podían controlar ; o, aquello que les parecía incalculable, como la inmensidad del cielo, el mar o los astros, también se justificaba con la percepción de una deidad, la cual se profundizaba que podía abarcar todo aquello que les pareciese infinito (Boyer & Merzbach, 2011). Es pues, la incertidumbre una experiencia filosófica, logra que el sujeto llegue a conclusiones existenciales que le acerquen más al conocimiento de lo futuro, de aquello que no se conoce. Así, indagar o predecir las acciones futuras es una parte importante en la investigación del comportamiento humano; ya que, reconocer estas predicciones es de vital importancia para distintos avances de la ciencia en general.

Estas particularidades – la incertidumbre y la habilidad de predecir el futuro por medio de ella – son algunos de los fundamentos que presiden en la implementación de la IGT. Esta prueba, como ya se ha mencionado, pretende situar al que la responde en un entorno de incertidumbre, sobre el cual deberá ir tomando experiencia por sí mismo para que, finalmente, logre aprender las características de cada conjunto a elegir, para seleccionar aquellas opciones que le son de ventaja.

Por ello, los investigadores Antoine Bechara, Antonio y Hanna Damasio, en 1993 publicaron un experimento que exponía el deterioro de los procesos mentales ligados a la toma de decisiones en la sección ventromedial de la corteza prefrontal del cerebro, por medio de la prueba de apuestas de Iowa (Iowa Gambling Task). Este experimento tuvo como objetivo exponer al usuario ante un ambiente de incertidumbre sobre el cual deba tomar decisiones que le favorezcan a largo plazo, sobre aquellas que le son convenientes a corto plazo.

Sobre este escenario ya conocido de la prueba, existen diversas variables que pueden ser modificadas sin afectar a la naturaleza del experimento:

- El tamaño de las retroalimentaciones, las cuales pueden variar en función del aprendizaje que debe tener el participante al momento de elegir un mazo. Por ejemplo, en algunas ocasiones, las retroalimentaciones positivas pueden ser mayores en los mazos de ventaja, con el objetivo de que el sujeto se vea persuadido con mayor facilidad hacia estos mazos.
- El tiempo de exposición: esta variable puede alargar o acotar el lapso temporal de la prueba, que usualmente es de 100 elecciones. De esta forma, si el sujeto se ve expuesto durante un lapso mayor es capaz de ganar más experiencia en el experimento y con ello, recrear estrategias y patrones más certeros que le permitan ganar una mayor cantidad de créditos. También, se considera que el usuario pueda acceder al tiempo de exposición mediante una retroalimentación que le permita conocer cuánto falta para que termine la prueba. Finalmente, se puede añadir que, la prueba puede terminar en función de la cantidad de elecciones, o en función de la duración del experimento. El cual delimita a todos los participantes a un tiempo en particular.
- La probabilidad de ganancia o pérdida: Esta variable, pretende establecer la cantidad de retroalimentaciones positivas y negativas dentro de cada mazo, para reconocer, junto a al tamaño de la retroalimentación, cuáles son los mazos de ventaja y desventaja. El cambio de esta variable es especialmente útil en participantes que ya hayan aplicado la prueba y, por consecuencia conocen la ubicación concreta de los mazos de ventaja, ya que, por medio de este valor y el tamaño de la retroalimentación, se pueden trasladar los valores de ventaja y desventaja hacia otros mazos, otorgando diversidad y permitiendo que los sujetos desarrollen nuevas estrategias ante el nuevo reto.

Así, se han hecho diversas recopilaciones sobre la diversificación de estas variables (Tabla 5) (Aram et al., 2019). Cada una de las investigaciones, como se verá posteriormente, tuvo resultados semejantes: aquellos sujetos que pertenecían al grupo con anomalías no pudieron diferenciar sistemáticamente los mazos que resultaban de conveniencia sobre los que le eran desventajosos.

Cada una de las variantes de la IGT tuvo como objetivo aumentar o disminuir la sensibilidad con que pudieran ser identificados los mazos de ventaja sobre los de desventaja, de manera que pudiese ser aplicada en distintos ambientes de investigación y con diversos objetivos.

Tabla 5 Revisión de las diferentes versiones de la IGT.

Referencia	Ganancias				Pérdidas				Resultados
	Mazo 'A'	Mazo 'B'	Mazo 'C'	Mazo 'D'	Mazo 'A'	Mazo 'B'	Mazo 'C'	Mazo 'D'	
Bechara, Damasio, Damasio y Anderson (1994): <i>Prueba A B C D</i>	+100	+100	+50	+50	-150 a -350	- 1250 o 0	-25 a -75	-250 o 0	Se encontraron diferencias significativas entre los grupos analizados; donde el grupo control creó preferencias sobre los mazos ventajosos, mientras que el grupo de pacientes (con daños en la PFC) no reconoció diferencias en los mazos.
Bechara, Tranel y Damasio (2000); Li et al. (2010) <i>Prueba A' B' C' D'</i>	+100	+100	+50	+50	-150 a -350	- 1250 o 0	-25 a -75	-250 o 0	Las diferencias entre grupos analizados son mayores a investigaciones anteriores, denotando el cambio de sensibilidad entre versiones.
Bechara, Tranel, and Damasio (2000); Li et al. (2010) <i>Prueba E' F' G' H'</i>	+1250 o 0	+25 a +75	+150 a +350	+250 o 0	-100	-50	-100	-50	Los resultados arrojaron que los pacientes con lesiones ventromediales son insensibles a las consecuencias futuras, positivas o negativas, y son guiados por prospectos primitivos.
Bechara, Damasio, Tranel, and Damasio (2005) <i>Prueba Modificada A B C D</i>	+100	+100	+50	+50	- 1250	- 1250	-250	-250	El cambio en los mazos y sus figuras impulsó a los participantes a realizar predicciones equivocadas, las cuales se ven reflejadas en la cantidad de créditos totales al final de la prueba.
Cassotti, Aïte, Osmont, Houdé, and Borst (2014) <i>Prueba Modificada A B C D</i>	8-12	8-12	4-6	4-6	15- 35	125	2-8	25	Los resultados describieron un cambio en la metodología de los participantes para describir aquellas elecciones que les resultarían ventajosas. De forma que se describió una nueva técnica de aprendizaje a nivel cognitivo.

Se observa en la Tabla 5, en primer lugar, a la prueba original antes mencionada. Seguido por una versión modificada, creada por los mismos investigadores 6 años después. Esta nueva versión (Bechara et al., 2000), pretendió ahondar en el planteamiento de la prueba, añadiendo terminologías y suponiendo nuevos escenarios a los que fueron puestos diversos participantes. Se diseñó una variante en la que los mazos de ventaja producían un alto castigo inmediato, pero una recompensa futura aún mayor.

En este estudio, se enlistan tres posibilidades sobre las cuales se ratifica el comportamiento del participante: i) hipersensibilidad a la recompensa; ii) insensibilidad al castigo e; iii) insensibilidad a la consecuencia futura. Se utilizó una nueva variable biométrica: la actividad electrodérmica en la piel, medida en este caso en la palma de la mano electora (recordemos que esta versión de la prueba se realiza de forma física, con cartas reales).

Esta magnitud busca ser un marcador somático ante la elección de aquellas decisiones que parecen ser de desventaja; en otras palabras, dentro del experimento, luego de haber realizado un cierto número de elecciones sobre las que el usuario ha planteado su experiencia observacional, este comienza a producir respuestas anticipatorias, reflejadas en la conductancia de la piel; las cuales suceden antes de seleccionar algún mazo de desventaja.

Esta respuesta actúa como un mecanismo de defensa ante la decisión imprecisa del usuario. Por otra parte, se observó que en los pacientes con lesiones ventromediales (VM), no se producían este tipo de respuestas; como si el participante no tuviese sensibilidad ante las consecuencias futuras, a lo cual se refirieron como “miopía del futuro” (Damasio, 2015). Estas observaciones motivaron a más investigadores a utilizar este nuevo biorregistro (la conductancia de la piel), el cual fue reconocido más tarde como un marcador somático.

En 2004 siguiendo con el tenor sobre el papel de la toma de decisiones en el cerebro humano, se realizó una investigación (Bechara & Damasio, 2005; Li et al., 2010) que daba a conocer una nueva teoría que enlaza directamente a las emociones a esta habilidad cognitiva, por medio de los llamados ‘marcadores somáticos’. La idea clave de esta hipótesis, redundaba en que la toma de decisiones es un proceso que se ve influenciado por ciertas señales marcadoras, que surgen directamente desde los procesos biorreguladores del cuerpo, incluidos los que permiten expresar emociones y sentimientos. En esta investigación, se utilizó la prueba IGT para probar el comportamiento del sistema neural propuesto, adoptando el paradigma experimental que exhibe la capacidad cognitiva de

tomar decisiones. Se utilizó nuevamente la medición electrodérmica de la piel (SCR, '*skin conductance response*') usada como indicio de la activación de estados somáticos neurales. Se observó que existen intervalos de tiempo en los que, el sistema neural 'admite' las decisiones de ventaja de forma automática e inconsciente; por otro lado, cuando el usuario decide elegir una carta de los mazos de desventaja, se generan ciertos mecanismos de prevención que activan ciertos estados emocionales, ya sea de decepción o frustración. Por tanto, se determinó que el proceso de tomar decisiones en un cerebro humano es guiado necesariamente por las emociones, las cuales se manifiestan por medio de señales (o marcadores) somáticos.

Más tarde ese mismo año, fue publicada una investigación holandesa (Schutter et al., 2004) la cual, aunó su trabajo al de Bechara y Damasio al utilizar la prueba Iowa Gambling Task partiendo de las hipótesis anteriores, en la cual los sentimientos se ven involucrados en la toma de decisiones, y donde los pacientes con daños en la corteza prefrontal (CPF) tienen déficit en esta misma habilidad, se observa los diversos tipos de escenarios en que se ven involucrados los sujetos que realizan la prueba: existe una inherencia de la prueba y el sistema neural de castigo y recompensa, el cual según anteriores investigaciones (Sobotka et al., 1992) se encuentra polarizado dentro de la CPF: el lado izquierdo domina principalmente la recompensa; mientras que el lado derecho en el castigo. De esta forma, Schutter en su investigación ahonda en estos conceptos aunando a la prueba el registro de actividad alfa electroencefalográfica (EEG), para cuantificar el patrón de comportamiento electro cerebral de toma de decisiones, ya sean de riesgo, de ventaja o desventaja. Contrario a lo que se esperaba, existió relativamente más actividad cerebral del lado derecho en comparación al izquierdo, asociada a la estrategia de desventaja. Estos resultados, en términos teóricos discurren en la interpretación funcional de la actividad alfa frontal del cerebro, que depende de la operación mental involucrada y no necesariamente la minimización de ella implica inactividad.

Un año después, Ernst y Paulus (2005) realizaron una investigación en la que analizan la toma de decisiones desde la perspectiva clínica; realizando análisis neurobiológicos para determinar el desarrollo de las distintas etapas de la toma de decisiones y para identificar déficits únicos asociados a diversos trastornos psiquiátricos. Ernst determina que la toma de decisiones consiste en tres etapas: 1) la formación de preferencias entre las distintas opciones; 2) la selección y ejecución de una acción en particular, según las preferencias formadas y; 3) la experiencia o evaluación de la consecuencia de la acción realizada.

Detalla las áreas cerebrales involucradas en cada una de las etapas, así como diversos desordenes psiquiátricos que podrían derivar en un deterioro de la capacidad cognitiva de tomar decisiones, como el Alzheimer o la esquizofrenia.

Por otra parte, en el 2006, Dunn et al. presentaron una investigación la cual pretendió indagar más sobre la teoría de los marcadores somáticos (Dunn et al., 2006). Como ya es sabido, esta teoría se ve establecida gracias a los trabajos de Bechara y Damasio (Bechara et al., 2000; Bechara & Damasio, 2005; Damasio, 1996) y las diversas aplicaciones de la IGT. Por lo que el trabajo de Dunn fue realizar una recopilación de las diversas aplicaciones que ha tenido la IGT para la evaluación continua de la toma de decisiones: En 2001 (Clark et al.), aplicada a pacientes con manía aguda, pacientes esquizofrénicos; en 2005 (Goudriaan et al., 2005) aplicando la IGT a pacientes con ludopatía (deseo irrefrenable de apostar) dependientes de alcohol, con síndrome de Tourette, entre otras investigaciones.

En este trabajo, Dunn ha abierto a la comunidad científica el amplio catálogo de aplicaciones de la prueba IGT, con sus variantes y las ventajas que cada uno de estas presenta ante la aplicación a un grupo en particular. Señala las fortalezas de la IGT, siendo esta la prueba por excelencia ante la revisión de marcadores somáticos; sin embargo, las conclusiones discurren en la necesidad de un mayor número de observaciones empíricas, para que la teoría de marcadores somáticos siga siendo válida.

Por otra parte, se reconocieron distintos campos en la toma de decisiones, su relevancia e impacto en la sociedad. Davidson y Chapman han hablado sobre las decisiones en el ámbito médico, las cuales, comparadas a otro tipo de decisiones, frecuentemente se desenvuelven en un ambiente de riesgo o incertidumbre muy particular, que en este caso es la inspiración de la investigación (Davidson, Richard J; Chapman, 1990). Los procesos neuropsicológicos a los que se ven sujetos el personal médico deben adquirir un cierto nivel de automatización, que logre atribuir sus decisiones a un cierto método de investigación y observación momentáneo, el cual ayuda a aportar juicios que no involucren directamente las emociones del personal, sino que pretendan ser objetivas.

Otra investigación que vale la pena revisar, es aquella realizada por Amoss (Amoss, 2009), la cual indagó utilizando la electroencefalografía, en el efecto que tiene la realización de la IGT ante participantes saludables o control. Profundizó en las formas en que participantes saludables contestan esta prueba, enmarcando especialmente tres métodos: 1) donde la mayoría de las decisiones se toman con seguridad; 2) donde la mayoría de las

decisiones se toman en un estado de riesgo o alerta y; 3) donde la mayoría de las decisiones se toman al azar, dejando a la experiencia obtenida en un segundo término.

Esta investigación, profundizó en la aparición de ondas α (Alpha) y β (Beta) durante la aplicación de la prueba, y las relacionó a la forma en que los sujetos responden la prueba, localizando así distintos patrones y momentos que el participante vive durante la IGT: en primer lugar, localizó a las decisiones “de corazonada”, las cuales el participante se permite realizarlas en las primeras elecciones. Estas, aunque parecieran elecciones tomadas de forma aleatoria, son tan importantes como las tomadas en juicio de razón; ya que permiten la introducción del participante al espacio muestral de la prueba, y por medio de estas se crea un patrón experimental, que permite conocer qué elecciones realizadas resultaron ser convenientes. Todo este ejercicio se presenta comúnmente antes de la elección 20.

Se reconoció de la misma manera, el periodo “de aprendizaje”, generalmente entre las elecciones 21 y 50, donde el participante inconscientemente comienza a generar estrategias y patrones, que le permitirán ganar créditos. Es en este periodo cuando, generalmente se pierden más créditos, ya que el participante intenta encontrar la solución al problema presentado, y puede llegar a tomar más decisiones de riesgo de lo habitual.

De esta forma, las observaciones de Amoss invitaron a más investigadores a utilizar la prueba IGT (Aram et al., 2019; Gordillo León et al., 2011; Howieson, 2019; Vance et al., 2014) y a seguir diversificándola según lo requerido por el estudio realizado, por lo que en lo general, se han podido desarrollar distintos métodos y ambientes, ya sea computacionales o físicos, en donde se pueda aplicar la prueba IGT, de acuerdo con sus objetivos e hipótesis iniciales.

3.2 Pruebas Neuropsicológicas Computarizadas

Uno de los objetivos esenciales de la computarización de pruebas neuropsicológicas, como se ha revisado anteriormente, es brindar una herramienta que añada ventajas y nuevas funciones a la prueba neuropsicológica de interés. Estas ventajas pueden ser desde el almacenamiento de los datos adquiridos en la experimentación, como la posibilidad de descomponer el método experimental, de forma que se adapte a las condiciones necesarias para la investigación a realizar.

Por ello, la exploración neuropsicológica ha dedicado un amplio espacio de investigación al desarrollo de software en base a distintas pruebas neuropsicológicas computarizadas. Actualmente, en línea se puede encontrar un amplio catálogo de pruebas

neuropsicológicas; sin embargo, el utilizar este tipo de herramientas en experimentación formal conlleva un riesgo: el respaldo científico que muchas de estas aplicaciones tienen, es poco o nulo. Por lo que se ve necesaria la implementación de pruebas que evidencien su efectividad y capacidad de reproducción de una prueba al ámbito virtual.

Es por eso, que en este apartado se expondrán algunos ejemplos sobre los retos y aplicaciones que ha tenido el desarrollar pruebas neuropsicológicas computarizadas, el enfoque para el que fueron desarrolladas y los resultados que reflejaron estas investigaciones; con el fin de comprender más a fondo las consideraciones que se deben asumir en el desarrollo de nuevas pruebas neuropsicológicas computarizadas.

3.2.1.1 Wisconsin Card Sorting Test (WCST)

La prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WCST, por sus siglas en inglés) fue desarrollada por la Universidad de Wisconsin en 1948. Describe un escenario con 4 cartas, en las que se muestran figuras, de diferente número y color. El desafío consiste en que el usuario reconozca las características de una carta que se le proporciona, y pueda clasificarla según las características de las cartas propuestas. Durante la aplicación de esta prueba, se evalúa el razonamiento abstracto y la habilidad para cambiar las estrategias cognitivas como respuesta a eventuales modificaciones ambientales. Esta prueba se puede considerar dentro de conjunto de pruebas ejecutivas, que requieren habilidad de desarrollar y mantener estrategias.

En la actualidad existen un sinnúmero de interfaces y aplicaciones que logran replicar esta prueba en el ámbito computacional; sin embargo, algunos estudios han querido refutar el funcionamiento práctico del medio computacional con relación a la aplicación de esta prueba neuropsicológica. En 1996, se realizó un experimento (Artiola, Fortuny & Heaton) en el que se pretendió comparar la aplicación de esta prueba neuropsicológica, tanto por la vía estandarizada (mediante cartas físicas), como por la vía computarizada.

El resultado en esta investigación fue contundente. Los participantes interactuaron de forma similar en ambas metodologías. La discusión de este resultado puntualizó que los participantes que habían aplicado la prueba en el medio estandarizado parecían ser más finos en sus respuestas; mientras que los participantes por el medio virtual repasaron más sus respuestas; no obstante, los resultados eran similares en ambas aplicaciones. En esta investigación se concluyó que se podía utilizar uno u otro método para la aplicación de dicha prueba neuropsicológica, ya que los resultados arrojaron uniformidad; no obstante, se

reconoció que el método analítico difería entre cada grupo, ya que las estrategias del grupo computarizado, aunque más rebuscadas, parecían más sólidas.

Estas observaciones permitieron que más investigadores iniciaran este proceso de mudanza a lo computacional, donde muchas pruebas neuropsicológicas fueron creadas y probadas, reparando y discutiendo en su eficacia y naturaleza de reproducción.

3.2.1.2 Torre de Londres

Prueba de la Torre de Londres (TLT), es una herramienta muy popular, que comúnmente se utiliza en la práctica clínica para identificar problemas en aspectos de planificación y de la función ejecutiva. Algunas investigaciones (Anderson et al., 1996) han relacionado la ejecución de esta prueba, con la coordinación visual-motora de los pacientes, poniendo en tela de juicio su replicación en el entorno computacional. No obstante, se tiene registro del desarrollo de herramientas de código abierto (Tunstall et al., 2016) en las que se ha reproducido con bastante fiabilidad este experimento. Parte de las discusiones de esta investigación, al igual que las observaciones en el apartado anterior, se centraron en la sensibilidad con la que el sujeto reconocía los objetos presentados; aunque las características muestrales del evento virtual parecían más forzadas, los resultados obtenidos son similares o concuerdan con la premisa principal de la aplicación natural de la prueba en el medio físico.

3.2.1.3 Torres de Hanoi (HANOI-PC3)

El programa computacional Hanoi-PC3, fue desarrollado por investigadores mexicanos en 2009 (Guevara et al.), cuyo objetivo fue el de desarrollar un entorno computacional donde el participante pudiera conocer y contestar, de manera activa, la prueba neuropsicológica "Torres de Hanoi". El acertijo de las "Torres de Hanoi" (HT) fue inventado por el matemático francés Édouard Lucas (Stockmeyer P. K., 2008) en 1883, y consiste en 3 clavijas verticales, con un número n de discos, todos con un hoyo en el centro, que permite que estos sean apilados en cada una de las clavijas. Cada uno de los discos es de diferente radio, por lo que inicialmente estos están ordenados en una de las clavijas, el de mayor radio en el fondo y el de menor al inicio. El objetivo del acertijo es transportar esta torre de anillos, moviendo uno a la vez, poniendo siempre el anillo sobre una clavija vacía o sobre un anillo de radio mayor. Existe popularmente, la creencia matemática de que la solución con menor cantidad de movimientos es $2^n - 1$; por lo que, si existen 4 anillos en la prueba, la menor cantidad de movimientos con lo que se puede resolver este reto es de 15.

Al finalizar la aplicación de la HANOI-PC3, el instrumento es capaz de generar un archivo de texto, donde se recopilan los datos y movimientos realizados por el participante, colaborando a la creación de una base de datos para el análisis estadístico de grupos de participantes.

El desarrollo de esta prueba neuropsicológica en un ambiente virtual es ampliamente popular, a tal grado que se pueden encontrar versiones de esta en línea, de forma que se pueden aplicar directamente y los datos son registrados dentro de la interfaz, donde el participante puede interactuar con ellas y conocer los movimientos que teóricamente son erróneos; además, existen investigaciones (Noyes & Garland, 2003) en las que se han comparado los modelos de representación (físicos, computarizados o representaciones mentales), en función de la ejecución del acertijo, concluyendo en que los modelos físicos y virtuales tienen un mayor grado de aprovechamiento por parte del usuario; la representación mental de la prueba, pareció ser más precisa aunque más tardada, y el comportamiento de los sujetos expuestos a la prueba física pareció ser similar a aquellos que la aplicaron en un medio computarizado.

3.2.1.4 Iowa Gambling Task (IGT-Open)

En la investigación de las versiones computarizadas de la prueba IGT, se encuentra el desarrollo del software de código abierto IGT-Open, que puede ser ejecutado desde MATLAB u Octave. Este se desarrolló con la intención de que hubiese una herramienta global para el uso y aplicación de esta prueba neuropsicológica. Sus características y medios de aplicación la hacen una herramienta adecuada. De igual forma, los desarrolladores amplían la posibilidad de añadir distintos registros biométricos, como la conductancia de la piel, el registro electroencefalográfico, etc. No obstante, dentro de las conclusiones de la investigación, los creadores detallaron que existen diversas características que parecen importantes de agregar en futuras creaciones de interfaces. Estas consideraciones incluyen lo siguiente: agregar valor a la distribución del espacio muestral, añadiendo métodos por los cuales el aplicador desarrolle su propia variación de la prueba IGT, guardar los datos del participante, y la creación de una base de datos que pueda ser administrada desde el entorno MATLAB, para su posterior estudio. Teniendo en cuenta que la presente investigación pretende desarrollar la misma prueba neuropsicológica en el mismo entorno de desarrollo, se han tomado las retroalimentaciones de esta prueba como referencias para la creación de la IGTTask-Es. De forma que se constituya como una verdadera modernización del método previamente establecido.

Reconociendo el marco de las pruebas neuropsicológicas, sus aplicaciones y mutaciones al terreno virtual, se desarrollará a continuación el marco metodológico, que pretende exponer el procedimiento que se llevará a cabo para el desarrollo de la interfaz computacional. Se explicarán las características que se desea que tenga la prueba neuropsicológica, así como el algoritmo o procedimiento secuencial con el que se ejecute el programa.

IV. MARCO METODOLÓGICO

El trabajo metodológico detallado en este capítulo se centra en el proceso de creación de la interfaz gráfica IGTask-Es. Este desarrollo se llevará a cabo bajo dos objetivos: 1) implementar una interfaz gráfica que sea capaz de replicar virtualmente la aplicación de la prueba neuropsicológica IGT; y 2) que la implementación de esta interfaz sea, en términos de eficacia, de igual o mayor preeminencia a la aplicación de una prueba en el medio físico.

En este sentido, y tal como se ha detallado anteriormente, la investigación tiene como objetivo el desarrollo de una interfaz gráfica. A partir del marco general de la metodología de diseño de interfaces para la rama de la neurociencia y, utilizando el entorno de desarrollo interactivo para el diseño de una aplicación *AppDesigner*®, se describirá el proceso mediante el cual se desarrollaron las diversas instrucciones para la IGTTask-Es.

4.1 Creación de la Interfaz Computacional

La creación de interfaces gráficas, como ya se ha explicado en otros capítulos, es una herramienta fundamental para la comunicación humano-máquina. Este es, pues, el primer gran reto a cumplir en el desarrollo de esta interfaz, ya que la aplicación de pruebas neuropsicológicas dentro de un entorno virtual expone al sujeto participante, de forma inalterable, a un nuevo cúmulo de estímulos y respuestas; por ejemplo, en el caso de nuestra prueba, el participante ya no será capaz de tomar con sus manos la carta elegida, sino que necesariamente, la elegirá por medio de un ratón de computadora, que de la misma manera podría ser sustituido por otro periférico (por ejemplo, una pantalla táctil). De igual forma, las retroalimentaciones estarán sujetas a la colocación de las cartas, ya sea que el investigador a cargo las haya dispuesto intencionalmente en cierto orden o, que simplemente hayan sido mezcladas añadiendo un cierto valor de aleatoriedad.

Todas estas comparaciones, entre ambos medios de aplicación de pruebas dejan siempre una incógnita principal: ¿desarrollar una prueba neuropsicológica virtual cuya idea original se aplica en el entorno físico cambia la naturaleza de los resultados? Si la respuesta fuera afirmativa, ¿qué debe hacer el desarrollador para que disminuir el factor de cambio?

4.1.1 Descripción general

Se debe tener en cuenta que siempre que exista la acción de cambio de ambiente, coexistirá el cambio de estímulos. Por lo tanto, el reto principal reside en que este cambio de estímulos no modifique la esencia de la prueba a replicar. En nuestro caso, el objetivo

de la prueba a nivel práctico es que el usuario sea capaz de desarrollar estrategias conforme realiza elecciones en el entorno en el que se somete. Estas estrategias le llevarán a cumplir su objetivo, que es recolectar la mayor cantidad de créditos.

Como se puede observar en términos de ejecución, la implementación virtual de la prueba no afecta en la naturaleza del estudio en el que se basa, ya que los objetivos determinados tanto para el aplicador como para el aplicante residen en una buena ejecución de la prueba, que conlleve concentración y análisis de resultados por parte del participante. Finalmente, podemos inferir que en el caso de la prueba IGT, la aplicación virtual de la misma resulta favorable y prometedora, ya que, en lugar de restar variables al ambiente de selección, aporta un entorno controlado sobre el cual se pueden registrar los resultados.

En la implementación de la IGTask-Es, existen diversos objetivos:

- 1) Aportar un entorno en el que el investigador pudiese corroborar y modificar las variables de ejecución de la prueba, de modo que alterándolas sea capaz de aplicar no solo la variable principal de la prueba, sino aquellas que fueron desarrolladas posteriormente.
- 2) Brindar una herramienta computacional de almacenamiento de datos, donde se puedan recabar los datos generales del participante y utilizarlos en el procesamiento de datos.
- 3) Crear con las respuestas obtenidas una base de datos que almacene el registro de la aplicación de la prueba, de forma que pueda ser analizado posteriormente, tanto de forma individual como en conjunto de una población.
- 4) Brindar una herramienta para la visualización de resultados, que complete la información recabada por la interfaz; así como el análisis estadístico de las muestras, en el orden individual o poblacional.

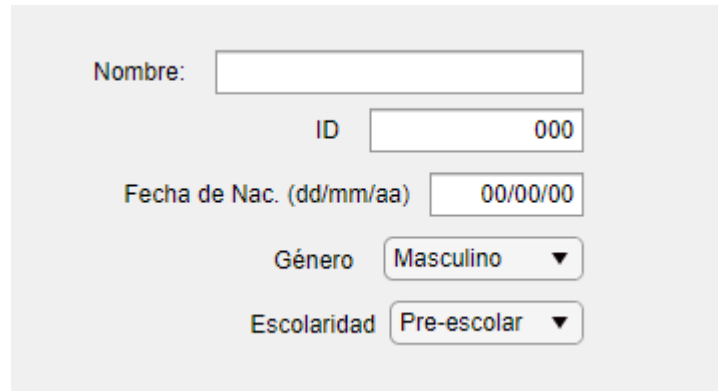
Finalmente, otra de las metas a nivel extrínseco fue la de poder aplicar la prueba en un entorno a distancia, ya que las nuevas tecnologías así lo permiten, para una recolección de muestras más eficaz y práctica, sin la necesidad de que el participante estuviese presente en un lugar determinado.

Según este contexto, se dividió la interfaz en 4 ventanas, cada una cumpliendo funciones determinadas que deben ser ejecutadas en un orden específico dada la naturaleza de la interfaz. A continuación, se describe la primera de las ventanas.

Inicialmente, al ejecutar la aplicación o interfaz gráfica por primera vez, esta nos preguntará dónde es conveniente guardar los datos de los participantes a analizar; si no se elige una carpeta, el programa creará por default una carpeta en el escritorio de la computadora llamada 'data', la cual almacenará los datos de cada uno de los participantes, en carpetas nombradas según el ID propuesto. En cada una de las carpetas habrá 4 archivos, lo cuales se describirán según su aparición en cada una de las ventanas.

4.1.2 Ventana principal

La primera de las ventanas, como se explicará en la sección de resultados, tiene como finalidad la recolección de los datos generales del participante. De forma sencilla, se plantean una serie de campos editables donde el concursante puede poner sus datos (ver Figura 12).



The image shows a form with the following fields:

- Nombre:
- ID:
- Fecha de Nac. (dd/mm/aa):
- Género: (dropdown menu)
- Escolaridad: (dropdown menu)

Figura 12 Campos Editables de la Ventana Principal

Dentro de esta ventana, se crea la carpeta donde se almacenarán los datos del sujeto, según su ID. Existen pues, dos posibilidades que pueden ocurrir al momento de la aplicación de la prueba (Fig. 13): 1) que el aplicador abra la ventana de configuración, por medio de la cual será capaz de modificar los términos en los que sea aplicada la prueba, y 2) Que se recaben los datos del sujeto y se pase directamente a la ventana de instrucciones.

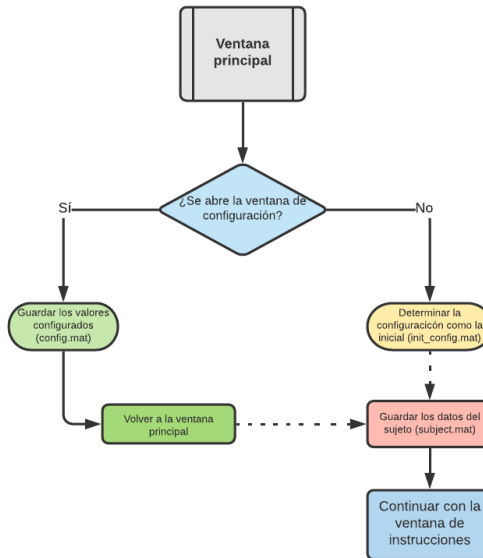


Figura 13 Diagrama de descripción de la Ventana Principal

Se observa que en cualquiera de los dos casos, luego de pasar a la ventana de instrucciones, en la carpeta de datos del participante existirán dos archivos de tipo ‘*.mat’: ‘subject.mat’ y ‘config.mat’, los cuales almacenan los datos del sujeto y las condiciones en que se aplicará la prueba, respectivamente.

De esta forma, si estos dos archivos no existen dentro de la carpeta del sujeto participante, el programa no podrá ejecutarse de forma ideal, incluso pueden existir errores que comprometan el buen funcionamiento de la interfaz.

Finalmente, si el aplicador de la prueba ha decidido cambiar las configuraciones sobre las que la prueba será ejecutada, se abre la ventana de configuración.

4.1.3 Ventana de configuración

En esta ventana, como se ha explicado con anterioridad, se establecen las condiciones en la que la prueba será ejecutada. Esta ventana se encuentra dividida en varios apartados, los cuales a su vez se encuentran subdivididos como veremos a continuación.

En primera instancia, se ha dispuesto el apartado de los mazos y el cálculo de la ganancia neta (Fig. 14) Los mazos, están determinados según una serie de vectores, los cuales el investigador o aplicador de la prueba puede modificar a su conveniencia. Para aprender con detenimiento el uso de cada uno de los vectores, el vector del conjunto ‘MazoA’ como ejemplo, el cual se describe como:

$$\text{MazoA} = [100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100 - 50 - 100 - 150 - 200 - 250]$$

Como podemos observar, en este vector existen cinco valores positivos y cinco negativos; los cuales establecen el espacio muestral en el que se desarrollará el mazo en cuestión; es decir, para el mazo 'A', estos diez valores se irán repitiendo en forma aleatoria hasta cumplir con la cantidad de elecciones determinadas por el aplicante de la prueba.

	MAZOS	GANANCIA NETA
Mazo A	100 100 100 100 100 -50 -100 -150 -200 -250	0
Mazo B	100 100 100 100 100 100 100 100 100 -1150	0
Mazo C	50 50 50 50 50 50 50 -50 -50 -50	0
Mazo D	50 50 50 50 50 50 50 50 -200	0

Figura 14 Sección de establecimiento de mazos y ganancias netas

De forma intrínseca, este vector numérico fija, a su vez, las siguientes variables: 1) la probabilidad de ganar en cada mazo, con la cantidad de valores positivos dentro del vector: en otras palabras, si el vector contiene 5 valores positivos, significa que, de cada diez elecciones a realizar en el mazo, cinco traerán una ganancia al sujeto participante, lo que se traduce en una probabilidad de 0.5. 2) la probabilidad de perder, siendo esta la contraria a la anterior. 3) se determina el espacio muestral de comportamiento del mazo, utilizando estos valores en el futuro como 'semillas' para la creación del campo de muestreo.

Nótese que puede existir un valor neutro (0 créditos) que no aportará ni quitará créditos del banco inicial del participante, por lo que en algunos momentos resultará ser una retroalimentación positiva y en otros negativa. Gran parte de las investigaciones de la IGT (Amoss, 2009; Aram et al., 2019; Dunn et al., 2006; Li et al., 2010) sitúan este valor dentro de los mazos de ventaja (que representan ser buenas elecciones).

Para la aplicación óptima de la prueba, es necesario que el vector establecido para cada mazo sea de 10 valores, para que su distribución sea uniforme durante todo el espacio muestral.

Dentro del mismo apartado, se observa un valor numérico situado a la derecha de cada vector (Fig. VI-3). Esto representa la ganancia neta para cada uno de los mazos, la cual se calcula sumando todos los valores en el vector.

Por ejemplo, si:

$$\text{MazoA} = [100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100 - 50 - 100 - 150 - 200 - 250]$$

Entonces:

$$\text{GananciaNetaA} = \text{suma}(\text{MazoA}) = -250$$

En otras palabras, si el usuario selecciona 10 veces seguidas el mazo 'A', este le hará perder 250 créditos. Obsérvese que, según esta información el mazo 'A' hará que el sujeto pierda más créditos de los que gana, situándolo entre los mazos de desventaja, o mazos de mala elección.

Para lograr ampliar la posibilidad de condiciones en los que la prueba puede ser aplicada, se determinará el término de la prueba bajo dos condiciones: 1) en función de la cantidad de elecciones que realice el sujeto participante o, 2) en función del tiempo que este dura contestando la prueba. Para ello, se dispondrá un grupo de botones, que se oponen entre sí, para que el aplicador tenga la posibilidad de elegir el término que mejor convenga a las condiciones de su investigación. Según la aplicación de la prueba original (Bechara et al., 1994), el final de la prueba se establece según el sujeto realice 100 elecciones. Sin embargo, otras investigaciones (Buelow & Suhr, 2009; Wyart et al., 2016) han sugerido el límite de tiempo como factor de término. Por medio de la IGTask-Es, el aplicador tiene la ventaja de seleccionar aquella que más le convenga según el interés de su investigación.

Así mismo, se establecerá la implementación de una retroalimentación auditiva, que permita que el sujeto participante escuche un 'sonido positivo' cuando gana créditos, o un 'sonido negativo' cuando los pierde. Esta función podrá ser activada o desactivada por el aplicador de la prueba, mediante el panel de 'Sonidos de Retroalimentación' (Fig. 15).

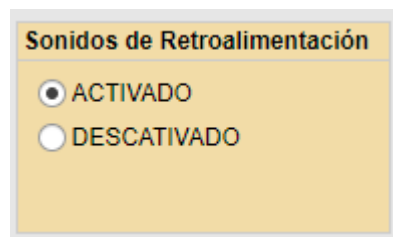


Figura 15: Panel para establecer el sonido de retroalimentación en la ventana de Configuración.

Finalmente, se dispondrá de un campo editable para que el aplicador indique cuál va a ser la cantidad de créditos con los que el sujeto participante comience la prueba. Este campo se llamará banco inicial. Las investigaciones realizadas diversifican este valor según la cantidad de créditos que se ganan o se pierden; si la retroalimentación es mínima, el banco inicial será mínimo o viceversa. Por lo general, con los datos establecidos de la prueba

original se establecen 2000 créditos, aunque investigaciones posteriores (Bechara et al., 1996) han incrementado este valor hasta los 2500 créditos.

4.1.4 Ventana de instrucciones

Al abrir esta ventana desde el botón 'continuar' de la ventana principal, además de indicar las instrucciones de la prueba al usuario que la aplica, esta ventana cumple otra función de manera invisible: permite crear un puente de traslación de datos entre la ventana anterior y la ventana siguiente; de esta forma, los datos identificados anteriormente podrán ser utilizados por la próxima ventana, creando un flujo de datos óptimo para la interfaz. Esta comunicación se describe en la Fig. 16.

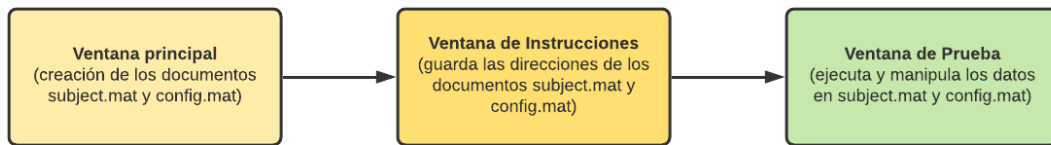


Figura 16 Flujo de datos entre ventanas

Finalmente, mientras el sujeto participante ha leído y comprendido las instrucciones y está dispuesto a comenzar la prueba, en el orden computacional existe una migración de datos, donde la función inicial de la ventana de prueba es la obtención de estos datos introducidos, de forma que esta no se puede ejecutar si en la carpeta no existen los archivos descritos.

4.1.5 Ventana de la prueba IGT

Una vez ejecutada esta ventana, se crean los campos de selección, a partir de los cuales el participante estará realizando las elecciones correspondientes. Estos campos de selección se determinan según los vectores de muestras ubicados en la ventana de configuración o, si el aplicador de la prueba continuó sin abrir dicha ventana, los vectores para cada mazo están predeterminados según la aplicación de la prueba original (Bechara et al., 1994).

Como vimos en el apartado de la ventana de configuración, cada uno de estos mazos tiene un largo inicial de 10 valores, para que la distribución en la muestra sea uniforme; sin

embargo, si el aplicador introduce más valores dentro del vector estos serán manipulados de la misma forma.

Para la distribución aleatoria de los valores del vector inicial en todo el espacio muestral, se utiliza la función o comando 'randperm', del entorno computacional MATLAB®. Esta función permite crear un nuevo vector del tamaño que se guste realizando permutaciones aleatorias de una muestra inicial. Por lo que sí:

$$A = [100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100 \ -50 \ -100 \ -150 \ -200 \ -250]$$

Entonces, se realizarán 10 permutaciones aleatorias tomando cada una, valores del mazo 'A', para crear finalmente la variable 'MazoA', que tendrá el largo determinado por la cantidad de elecciones (en el caso predeterminado, 100).

Por ejemplo, tomando el vector A, a partir de las conjeturas anteriores creamos el MazoA:

$$MazoA = \begin{bmatrix} -150 & -100 & -150 & -200 & -100 & 100 & 100 & 100 & -150 & 100 \\ 100 & -50 & 100 & -100 & 100 & 100 & 100 & -200 & 100 & -150 \\ -250 & -250 & -250 & -50 & -250 & 100 & -50 & 100 & -250 & 100 \\ -200 & 100 & 100 & -150 & -50 & 100 & -250 & 100 & -100 & 100 \\ 100 & -150 & -200 & 100 & 100 & -200 & 100 & 100 & 100 & -200 \\ -100 & 100 & -100 & 100 & 100 & -50 & 100 & -50 & -200 & 100 \\ 100 & -200 & -50 & 100 & -200 & 100 & -100 & -250 & 100 & -50 \\ -50 & 100 & 100 & 100 & 100 & -100 & -200 & 100 & 100 & -100 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & -150 & -150 & 100 & -150 & 100 & 100 \\ 100 & 100 & 100 & -250 & 100 & -250 & -150 & -100 & -50 & -250 \end{bmatrix}$$

Según la variable descrita, observamos que en cada columna existen diez valores los cuales corresponden, de forma aleatoria, al vector 'A'; de tal forma que al concatenar de forma vertical cada una de las columnas de 'MazoA' obtendremos el espacio muestral que establece cada una de las elecciones del sujeto participante en ese mazo.

Finalmente, este procedimiento sucede para cada uno de los mazos para obtener cuatro vectores de 100 elementos de largo, cada uno perteneciente a un mazo en particular. Por medio de este método se asegurará que el sujeto participante tenga en promedio las mismas consecuencias en términos de créditos a lo largo de su experiencia por la prueba; y según estas consecuencias, poder distinguir aquellos que le son más favorables sobre los que no.

Por otro lado, luego de establecer el espacio muestral de cada uno de los mazos, se determinarán de igual forma los valores iniciales de las variables que se utilizarán durante la prueba. Se establece el banco inicial, el cual será mostrado constantemente al sujeto por

medio de la interfaz, de igual forma se mostrarán cada uno de los mazos en pantalla, añadiendo algún tipo de animación o estímulo que muestre explícitamente al participante qué elección está por ejecutarse.

El diseño de esta ventana es una tarea en la que se debe tener una gran precisión, ya que ésta determinará en gran parte el comportamiento que se tendrá durante la prueba; la interfaz gráfica será la herramienta por la cual se obtendrá la experiencia que hará que el participante cree estrategias al usuario y la que le aportará los conocimientos necesarios para una buena ejecución.

Según investigaciones anteriores (Bechara et al., 2000; Dancy & Ritter, 2017; Dunn et al., 2006; Vance et al., 2014), el sujeto participante debe tener acceso a los siguientes datos durante la prueba, para no afectarla en su naturaleza:

- Los mazos por elegir, presentados siempre del mismo tamaño, color y forma, equidistantes entre sí y definir claramente cada uno de ellos; es decir, que el participante en todo momento conozca qué mazo es llamado 'A', 'B', 'C' o 'D', respectivamente.
- Un estímulo, ya sea auditivo o visual, por el cual el participante reconozca en todo momento qué mazo es el que está eligiendo. Esto se puede realizar, por medio de una animación, un movimiento o simplemente una celda de caracteres, donde aparezca la letra del mazo seleccionado.
- Un medio por el cual el sujeto participante realice la 'apuesta'; es decir: luego de asegurarle por medio de estímulos qué mazo es el que está eligiendo, debe existir un medio por el cual se realice la apuesta que le arroje la retroalimentación respectiva.
- Debe aparecer explícitamente el resultado de su apuesta, ya sea positivo o negativo; esta es una característica muy importante dentro de la prueba y sobre la cual redundará el comportamiento del sujeto, por lo que se debe asegurar que la interfaz informe al sujeto que ha ganado o perdido créditos con su elección.
- Aparecerá también el monto total actual en todo momento durante la prueba, para que el participante sea capaz de reconocer cuántos créditos posee.
- Finalmente, al término de la prueba, se deberá indicar al participante que el experimento ha terminado, por medio de una leyenda, un estímulo visual o auditivo.

Después de la aplicación de la prueba, es aconsejable que el sujeto cuente su experiencia al aplicador de la prueba por medio de una pequeña encuesta que, aunque no esté indexada al trabajo de la interfaz, se realice de alguna manera, ya que es importante conocer el método y estrategias que el sujeto utilizó para contestar la prueba.

Asimismo, al término de la prueba se deberá proporcionar al aplicador un medio por el que pueda analizar las respuestas de los participantes, por lo que es necesaria la creación de una ventana de resultados indexada a la ventana principal de la interfaz gráfica.

4.1.6 Ventana de resultados

Después de la aplicación de la prueba, se desarrollará una ventana de resultados que se encuentre indexada a la ventana principal, y que, por medio de ésta, el usuario o investigador sea capaz de realizar diversos tipos de estudios y gráficas que sean de utilidad para la observación de las variables resultantes de la aplicación de la prueba.

Como se pudo observar anteriormente, durante la aplicación de la prueba el sujeto participante debe ser capaz de desarrollar estrategias y comportamientos que le precisen en el futuro ganar una mayor cantidad de créditos. Estos comportamientos, resultan ser mesurables respecto a diversos factores; por ejemplo: se pueden localizar con relativa facilidad aquellas elecciones que le tomaron más tiempo al usuario; o también, respecto al tiempo, podemos conocer la media de respuesta al estímulo que el sujeto generó durante la prueba (también conocida como latencia). Esta se mide desde el instante en el que el sujeto participante se expone al estímulo, hasta el momento en que toma una decisión.

El comportamiento de las distintas variables de la prueba es un fenómeno que podrá ser observado desde un plano individual o también, poblacional. Dado que cada uno de los sujetos participantes crearán tácticas y métodos de respuesta distintos conforme avanzan dentro de la prueba, estas tácticas se ven en gran parte resumidas en función de la cantidad de elecciones de ventaja; es decir, todos y cada uno de los métodos que formulen los participantes, deberán apoyar la premisa de reconocer los mazos que les son favorables y elegirlos una mayor cantidad de veces o, en otras palabras, rechazar los mazos que manifiesten desventaja.

Así, la observación de estos distintos comportamientos en lo individual nos llevará a una discusión de lo poblacional, que nos ayude a determinar cuáles fueron las características que más ayudaron a los sujetos de prueba a reconocer la trama de la prueba IGTASK-ES.

Los resultados que podrán observarse desde un punto de vista individual son:

- La cantidad de elecciones que realizó el sujeto participante: Se deberán recolectar cada una de las elecciones realizadas por el participante durante la prueba y exponerlas, preferentemente en gráficos de barras, logrando destacar los grupos o mazos que son más elegidos. Es preferente que esta demostración de datos se haga por cuartiles (primer cuartil: entre las elecciones 1 a 25; segundo cuartil: entre la 26-50; tercer cuartil: entre la 51-75 y; cuarto cuartil: entre las elecciones 76 y 100), para observar entre qué elecciones los participantes comienzan a crear preferencias hacia qué mazos.
- La tendencia de ventaja vs. la de desventaja: Esta gráfica, mostrará la suma de las elecciones en C y D (mazos de ventaja) y entre A y B (mazos de desventaja). Este formato nos dará un valor cuantitativo, en función del avance del sujeto; de tal manera que, graficando estas muestras con relación a los cuartiles antes mencionado se logre observar la tendencia del sujeto hacia alguno de los grupos.
- Total acumulado: Se deberán recaban los totales acumulados del sujeto en cada una de las elecciones, con el fin de examinar el impacto que tuvo la retroalimentación obtenida de cada una de las decisiones tomadas. Así, podremos identificar los momentos de inflexión (que le hagan cambiar de estrategia) o, momentos de certidumbre (donde la tendencia de créditos se vea positiva).
- El tiempo de respuesta: Se deberá analizar el tiempo de respuesta al estímulo de parte del sujeto. Este tiempo puede señalarnos varias cosas: en primera instancia, se podrá conocer la media del tiempo de respuesta que tuvo el sujeto durante la prueba; así como distintos instantes de inflexión o reflexión, en los que el sujeto participante reconoce la estrategia tomada y analiza la posibilidad de cambio. Finalmente, el tiempo podrá mostrarse en dos formas: 1) a manera de histograma, logrando identificar la densidad de respuesta en la que el sujeto realizó la prueba o, 2) como un gráfico lineal, en el que destaquen los puntos en los que el sujeto tardó más o menos en realizar la elección. También, puede mostrarse el tiempo total que duró la prueba, para identificar a aquellos sujetos que hayan tardado más o menos en terminarla, así como los tiempos medios de término de la prueba, para reconocer los estándares de duración total.

Por otra parte, los resultados poblacionales nos permitirán tener un plano más general de lo obtenido mediante la prueba, pudiendo reconocer de una forma más general, la

capacidad electiva del grupo de sujetos que se está examinando. Por medio de un análisis general, esta investigación pretende reconocer principalmente la efectividad de la prueba IGTask-Es, en donde su naturaleza computacional no afecte el carácter de experimentación al que el sujeto se somete durante una prueba IGT.

Este análisis poblacional, debe cubrir los siguientes apartados:

- El análisis de la cantidad de elecciones tomadas por la población, dividiendo la muestra en cuatro cuartiles, sobre los que se basará la revisión de resultados. En esta comparación se pretende observar cual es la tendencia de la elección por parte del grupo experimental, logrando captar cuál fue la media de sus elecciones, y como estas tienden hacia uno o dos mazos en particular.
- La cantidad de elecciones de ventaja y desventaja. Esta observación tendrá como objetivo, reconocer la tendencia poblacional respecto a la cantidad de elecciones de ventaja o desventaja que realizan durante la prueba. Por lo que, en términos reales, se planea observar una tendencia positiva en las elecciones de ventaja a través de cada cuartil; y, proporcionalmente, una tendencia negativa de las elecciones de desventaja a través de cada cuartil.
- La densidad de tiempo, la cual se mostrará por medio de un histograma, logrando mostrar a su vez el tiempo medio que tardaron los sujetos en tomar una decisión. Con frecuencia, este dato ayudará la capacidad de administración temporal de la muestra, así como la distribución del tiempo en las elecciones del grupo analizado.

En el análisis poblacional, es muy importante el uso de métodos estadísticos por medio de los cuales, se logren identificar diferencias significativas en las muestras recolectadas. Para obtener un valor cuantitativo de la participación de cada uno de los sujetos durante la prueba, se ha decidido sumar las decisiones de ventaja (realizadas sobre los mazos C y D), y las decisiones de desventaja (realizadas sobre los mazos A y B). De esta forma se localizará la participación del sujeto de la siguiente forma:

Tabla 6 Tabla de distribución de elecciones

Sujeto1	Ventaja	Desventaja
C1	V_1	D_1
C2	V_2	D_2
C3	V_3	D_3
C4	V_4	D_4

Total	V_{Total}	D_{Total}
--------------	-------------	-------------

Observamos en la tabla (Tabla 6) que la división por cuartiles otorga una nueva característica cualitativa a la prueba; donde las hipótesis de aplicación de la prueba (Aram et al., 2019) subrayan que, en sujetos control, a partir del segundo cuartil, se establece una bifurcación entre los dos tipos de elecciones, bifurcación que se va haciendo cada vez más evidente conforme se avanza en la prueba.

Los métodos estadísticos que se utilizarán para revisar en esta divergencia son:

- El análisis de varianzas (ANOVA): por medio de este análisis, conoceremos la varianza en cada uno de los grupos, y por medio esta revisar si existen diferencias significativas entre ellos. Para esto, será necesario utilizar el análisis de varianza de dos vías; para que por medio de éste cada una de las muestras se encuentre asociada bajo dos categorías: 1) por cuartiles y 2) tipo de elección. De esta forma, podemos intuir que, entre tipos de elecciones, las diferencias totales de los sujetos pueden no ser significativas; sin embargo, la cantidad de elecciones de ventaja y desventaja en cada cuartil, deberán ser significativamente diferentes, aplicando la prueba en sujetos control.
- Prueba T: En este estudio se comprobará si existe una diferencia significativa entre las elecciones de ventaja, y las elecciones de desventaja en cada uno de los cuartiles.
- Prueba de Wilcoxon: En este estudio se contrastarán las muestras relacionadas, y se dará a conocer si existen diferencias significativas entre los grupos (ventaja-desventaja) en cada cuartil; por tanto, al igual que la prueba anterior, este estudio se llevará a cabo en 4 ocasiones, una para cada cuartil.

4.2 Implementación experimental de la prueba

Se examinó un total 31 sujetos ($m = 22.9 \pm 2.94$), 16 mujeres y 15 hombres, de escolaridad predominante de nivel licenciatura, a los cuales se les aplicó la prueba neuropsicológica IGT por medio de la interfaz IGTASK-Es. Se les indicó con anterioridad que no consumieran sustancias o alimentos que pudiesen perjudicar su desempeño cognitivo (alcohol, café, etc.). De acuerdo con su propio testimonio, ninguno de los participantes presenta afectaciones a nivel neurológico que pudieran afectar su desempeño en la aplicación de la prueba neuropsicológica.

Dadas las condiciones actuales, se ha optado por la aplicación de la prueba de forma virtual, de manera que los participantes pudieron acceder a la aplicación de la prueba desde un ordenador propio, por medio de una aplicación externa. De esta forma, a cada participante se indicó la instalación de dicha aplicación externa para poder acceder a la IGTask-Es.

Una vez adaptado el escenario virtual de aplicación, se indicó al participante ubicarse en un sitio libre de interrupciones o ruido, para fomentar en él un ambiente de concentración y reflexión. Todas estas indicaciones se realizaron por medio de videollamada, logrando tener contacto visual y auditivo con el participante. Se facilitó al participante el consentimiento informado de la prueba (anexo 7.3) y, una vez aclaradas las dudas se procedió a la aplicación de la prueba.

Dispuesto el participante, se ejecutó la interfaz IGTask-Es, la cual en primera instancia (como se describe en el apartado 4.1) recopila los datos del participante. Luego de compilar estos datos, se accedió a la ventana de instrucciones. Desde este punto, leídas las instrucciones, se supervisó al participante de una forma indirecta, suprimiendo el contacto virtual, dejando a su propio criterio e intuición la ejecución de la prueba.

Obsérvese, que a partir de las condiciones en las que se aplicó esta prueba, se presenta una nueva metodología en la aplicación de pruebas neuropsicológicas no sólo mediante un ambiente virtual, sino también remoto; mediante las nuevas herramientas de comunicación, con las que no sólo podemos tener contacto a distancia, sino que también podemos ejecutar instrucciones de forma remota, contribuyendo así a este nuevo método.

Aplicada la prueba, cada uno de los participantes manifestó su experiencia para con la prueba: los patrones, estrategias, observaciones o hasta métodos que cada uno utilizó para encontrar aquellas decisiones que le resultaron ventajosas o no. Finalmente, se les mencionó que existen dos mazos de ventaja y dos de desventaja, cuestionando si pudiesen reconocer qué mazos responden a qué grupo. Estas observaciones verbales, tendrán una gran relevancia al momento de realizar conjeturas que ayuden a concluir en la afectividad de la interfaz IGTask-Es.

Realizada la fase experimental de la prueba, se procedió a analizar las muestras por medio de la ventana de resultados de la IGTask-Es; la cual, como se ha visto anteriormente, permite la interpretación de resultados de forma práctica e intuitiva.

Una vez presentado el marco metodológico, continúa la exposición de resultados, donde se mostrará formalmente a la interfaz computacional IGTask-Es, sus características, partes y mejoras en comparación con los otros métodos de aplicación de la prueba. Cada una de las partes de la interfaz, como se verá a continuación, cumple con un propósito específico, ya sea para mejorar la interacción con el participante o con el usuario que aplica la prueba.

V. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la ejecución del marco metodológico, los cuales describen la creación de la interfaz computacional IGTask-Es. Se describirán las características de la interfaz, las ventajas que propone, y la forma en la que se logra interactuar con ella, tanto por parte del aplicador de la prueba como por el sujeto aplicador.

Este capítulo se estructurará de forma paralela al capítulo metodológico, proveyendo los resultados de las actividades descritas en él. Esto es 1) La presentación de cada una de las ventanas que conforma a la interfaz IGTask-Es, 2) la forma en que se interactúa con ellas y 3) la forma en la que se visualizan los resultados,

Finalmente, se expondrán los resultados respecto la aplicación de la prueba en sujetos control, tanto a nivel estadístico como práctico, para poder realizar conclusiones y conjeturas finales a partir de ellos.

5.1 Presentación de la Interfaz Computacional

Ante las distintas tareas que debe cumplir la IGTask-Es, se ha visto ineludible la necesidad de presentarla en distintas ventanas, cada una cumpliendo una función en específico. A continuación, se presentan cada una de las ventanas, sus características y la forma en la que el usuario interactúa con cada una de ellas, para cumplir los objetivos que le fueron establecidos.

La prueba IGTask-Es está dividida en 4 ventanas: 1) ventana principal, 2) ventana de configuración, 3) ventana de instrucciones y 4) la ventana sobre la cual se aplica la prueba IGT. Cada una de ellas serán descritas en los siguientes apartados. Asimismo se dará a conocer una 5a ventana, que se encuentra indexada en la ventana principal la cual tiene como tarea visualizar los resultados obtenidos de la aplicación de la IGT, tanto de forma individual como poblacional.

5.1.1 Ventana principal

En primer lugar, se extiende la ventana Principal (Fig. 17), que tiene como finalidad capturar los datos del participante mediante distintos campos editables. Estos campos guardarán los datos recabados en una variable '.mat' (predeterminada del entorno MATLAB ®), la cual será utilizada posteriormente como base de datos.



Figura 17 Ventana Principal de la Interfaz Gráfica IGTask-Es

Esta ventana (Fig. 17), como bien el lector puede darse cuenta, es muy simple; y esta simpleza tiene también una finalidad: que el participante pueda contestarla de manera intuitiva y práctica. Esta característica es de importancia cuando la prueba se pretenda

aplicar a distancia o, simplemente como medio introductorio que ayude al sujeto participante a familiarizarse con el entorno virtual y sus dispositivos periféricos. Asimismo, durante la ejecución de esta ventana, se establece una carpeta donde serán guardados los datos de la aplicación de la prueba, situada en el escritorio del computador, con el nombre 'data'. En ella, se guardarán cada una de las pruebas realizadas, según el ID del sujeto, esto para colaborar con el orden del almacenamiento de datos y el posterior análisis.

Se observan 3 botones: uno colocado en la parte inferior izquierda, al cual se pretende que sólo el aplicador pueda tener acceso a este y lleva a la ventana de configuración; por otra parte, el botón colocado en la parte inferior derecha, que lleva al participante a la siguiente ventana relativa a la prueba; finalmente, se observa en la parte inferior derecha el botón 'Análisis de Resultados', desde el cual se podrá acceder a la ventana de resultados para el análisis de muestras experimentales. En el siguiente apartado se mostrará todo lo relacionado a la ventana de configuración.

5.1.2 Ventana de Configuración

Una vez presionado el botón de configuración (⚙️), se mostrará la ventana del mismo nombre (Fig. 18). Esta ventana se encuentra dividida en varios apartados, estos apartados se encuentran a la vez subdivididos, como veremos a continuación.

En primera instancia, en la parte superior se encuentra el apartado de los mazos y el cálculo de la ganancia neta. Los mazos, como se ha visto anteriormente están determinados según una serie de vectores, los cuales el investigador o aplicador de la prueba puede modificar a su conveniencia.

El funcionamiento y utilización de estos vectores se describe en el marco metodológico; sin embargo, se ha de recalcar que estos cumplen con varias funciones: determinan la probabilidad de ganar o perder en cada uno de los mazos y establecen el espacio muestral del comportamiento de cada uno de los mazos.

Dentro de este mismo apartado, se observa un valor numérico situado a la derecha de cada vector, el cual representa la ganancia neta que otorga en promedio cada uno de los mazos.

CONFIGURACIÓN

Mazos y Cálculo de Ganancia Neta

MAZOS	GANANCIA NETA
Mazo A: 100 100 100 100 100 -50 -100 -150 -200 -250	-250
Mazo B: 100 100 100 100 100 100 100 100 -1100	-200
Mazo C: 50 50 50 50 50 50 50 -50 -50 -50	200
Mazo D: 50 50 50 50 50 50 50 50 -200	250

Término de la Prueba

No. de elecciones

Tiempo límite (segs.)

Sonidos de Retroalimentación

ACTIVADO

DESCATIVADO

Banco Inicial

Figura 18 Ventana de Configuración de la IGTask-Es

En el siguiente apartado, localizado en la parte inferior izquierda (de color azul) de la ventana, se elegirá el factor de término de la prueba, el cual se puede ajustar según dos tipos de variables: 1) la cantidad de elecciones realizadas por el sujeto participante o, 2) un límite de tiempo, establecido por segundos. Por lo que, el aplicador de la prueba tiene la posibilidad de controlar, no sólo la cantidad de elecciones que el sujeto vayan a realizar, sino también, el tiempo que dure la prueba. Según la aplicación de la prueba original (Bechara et al., 1994), el final de la prueba se establece según el sujeto realice 100 elecciones. Sin embargo, otras investigaciones (Buelow & Suhr, 2009; Wyart et al., 2016) han sugerido el límite de tiempo como factor de término. Por medio de la IGTask-Es, el aplicador tiene la ventaja de seleccionar aquella que más le convenga según el interés de su investigación.

Asimismo, esta interfaz gráfica tiene como ventaja la implementación de una retroalimentación auditiva, que permite que el sujeto participante escuche un ‘sonido positivo’ cuando gana créditos y un ‘sonido negativo’ cuando los pierde. Esta función puede ser activada o desactivada por el aplicador de la prueba, mediante el panel ‘Sonido de Retroalimentación’, de color naranja.

Finalmente, se encuentra el campo editable “Banco Inicial”, que establece la cantidad de créditos con los que el sujeto participante comenzará la prueba. Las investigaciones realizadas diversifican este valor según la cantidad de créditos que se ganan o pierden; si la retroalimentación es mínima, el banco inicial será mínimo, o viceversa. Por lo general,

con los datos establecidos de la prueba original, se establecen 2000 créditos, aunque otras investigaciones incrementan este valor hasta los 2500.

La ventana cuenta con tres botones: el primero, para cambiar la carpeta a la que se destinan los resultados; el segundo para restablecer los valores al monto original (basados en la prueba original) y, el tercero; para guardar los datos seleccionados y volver a la ventana principal.

Una vez que el usuario presiona el botón “guardar y volver”, reaparecerá la ventana principal (véase 5.1.1). Habiendo dispuesto las condiciones de la prueba y los datos del participante, se puede continuar con la prueba, hacia la ventana de instrucciones.

5.1.3 Ventana de instrucciones

La ventana de instrucciones (fig. 19) tiene como objetivo explicar al sujeto participante cómo funciona la prueba, los retos a los que se verá enfrentado durante la prueba y el objetivo de ésta. Expone, en la parte superior una imagen de muestra de los 4 mazos a elegir e indica la forma en la que han de ser elegidos (haciendo clic sobre cada cual).

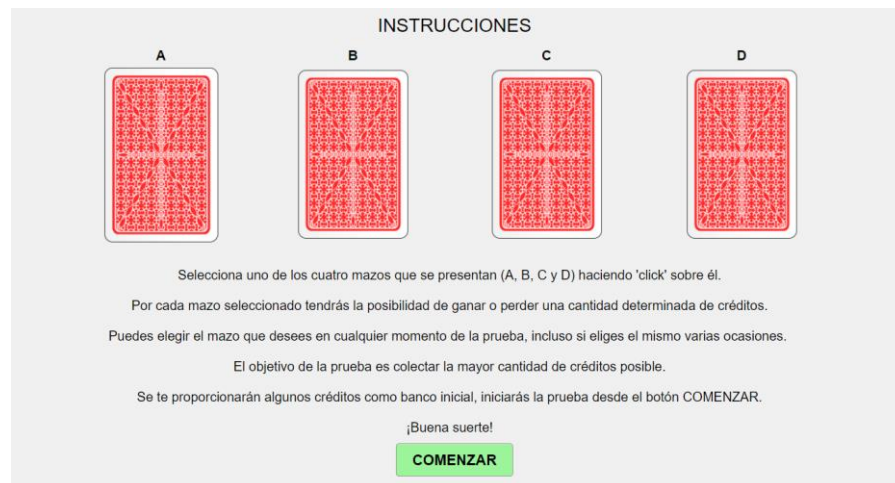


Figura 19 Ventana de Instrucciones de la IGTTask-Es

Finalmente, se indica que cuando se esté listo para comenzar la prueba, se presione sobre el botón ‘COMENZAR’, situado en la parte inferior central de la ventana.

Por medio de esta ventana, se da un comienzo ‘virtual’ de la prueba, en el sentido de que el participante comienza a generar experiencia a partir de las instrucciones leídas. Por ello, es de vital importancia que las instrucciones sean leídas de forma consciente y ordenada, para que no exista confusión a la hora de comenzar con la prueba. Asimismo,

por medio de esta ventana se crea una entrada al ambiente virtual en el que se pretende que el usuario sea inmerso. Las ventanas anteriores no eran determinantes para los resultados de la prueba; sin embargo, a partir de esta ventana, todos los estímulos presentados al usuario, la forma en que estos se presentan y cómo el usuario responde a ellos, serán clave para el análisis de resultados.

Una vez leídas las instrucciones y presionando el botón 'COMENZAR', el usuario accederá a la ventana propia de la prueba, la cual se describe a continuación.

5.1.4 Ventana de la prueba IGT

La ventana que se presentará a continuación es donde se lleva a cabo la IGT (Fig. 20). Por medio de esta, el usuario tiene acceso a distintos estímulos, instrucciones y persuasiones que en seguida se presentarán.

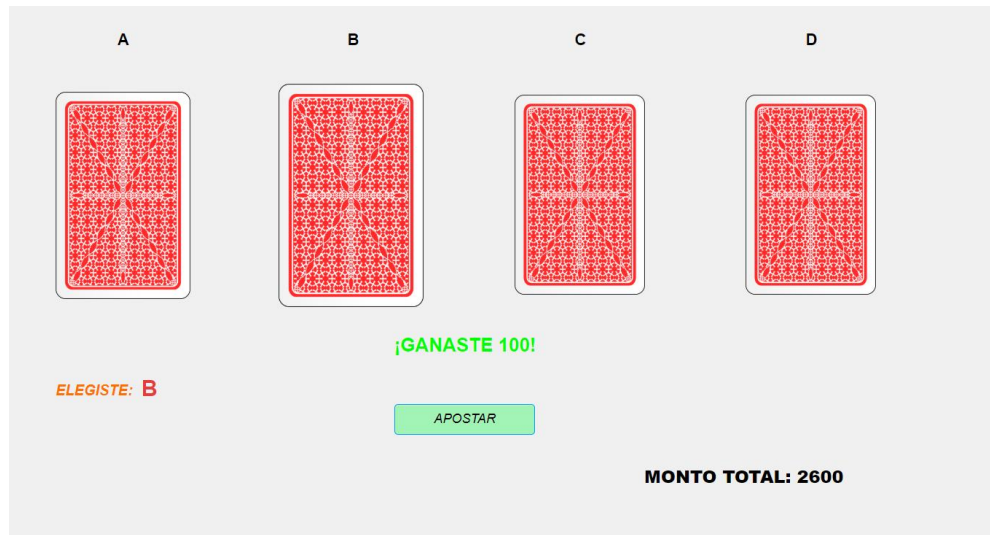


Figura 20. Ventana para la aplicación de la prueba IGT, de la interfaz IGTTask-Es

En primera instancia, se muestran los mazos de cartas sobre los cuales el sujeto será capaz de seleccionar. Cuando se selecciona un mazo, este aumenta su proporción para distinguirse sobre aquellos que no fueron seleccionados, como se observa en la figura. Por otro lado, en el costado izquierdo, bajo al mazo 'A', aparece la leyenda 'ELEGISTE: 'para indicar al usuario que, efectivamente la carta que ha sido pulsada está siendo elegida. Esto, en términos del comportamiento, es de gran importancia dado el ambiente en el que es introducido el sujeto: este debe ser plenamente consciente de su elección para aprender en base a ella. Por otro lado, en la parte inferior derecha se encuentra el monto total de créditos. A este monto se irán sumando o restando la cantidad que es determinada por

cada una de las elecciones, a fin de que el sujeto participante reconozca aquellas elecciones que le están haciendo ganar o perder cierta cantidad de créditos.

Finalmente, otra de las retroalimentaciones a revisar es aquella que se encuentra en la parte central de la ventana, justo superior al botón 'APOSTAR'. Esta casilla indicará al sujeto participante si ha perdido o ganado créditos, tanto en forma de texto como en color (cuando se ganen créditos aparecerá en color verde, y cuando se pierdan, en color rojo).

De esta forma, se pretende que el participante sea consciente en todo momento de aquellas elecciones que le están haciendo perder o ganar créditos, la cantidad de estas pérdidas o ganancias, y cómo éstas influyen en su banco total. La coordinación de todos estos estímulos creará un ambiente que represente un reto a nivel cognitivo e intelectual: se debe averiguar, con las herramientas que se tienen, cuál es la mejor estrategia para ganar la mayor cantidad de créditos posible.

Obsérvese finalmente, que estas indicaciones concuerdan en su totalidad con el objetivo principal de la prueba; y que, por tanto, la naturaleza de la IGT no se ve afectada de manera sustancial con su aplicación en un entorno virtual.

Una vez terminada la prueba, se aconseja realizar una pequeña encuesta al participante, sobre su experiencia dentro del entorno de la prueba, las estrategias que utilizó y, percatarse si este reconoció los mazos que son de ventaja sobre aquellos que le resultaron de desventaja.

Finalmente, anexada a la prueba se encuentra la ventana de resultados, sobre la cual el usuario será capaz de analizar de forma rápida las muestras obtenidas de los concursantes, ya sea de forma individual o poblacional. Esta ventana se describe a continuación.

5.1.5 Ventana de resultados

Se presenta a continuación la ventana de resultados, a la cual se puede acceder mediante el botón 'Análisis de Resultados' dispuesto en la ventana principal (Fig. 21). Esta ventana tiene como objetivo facilitar al aplicador de la prueba una herramienta que asista en el análisis de la muestra experimental derivada de la aplicación de la IGT-Task-Es.

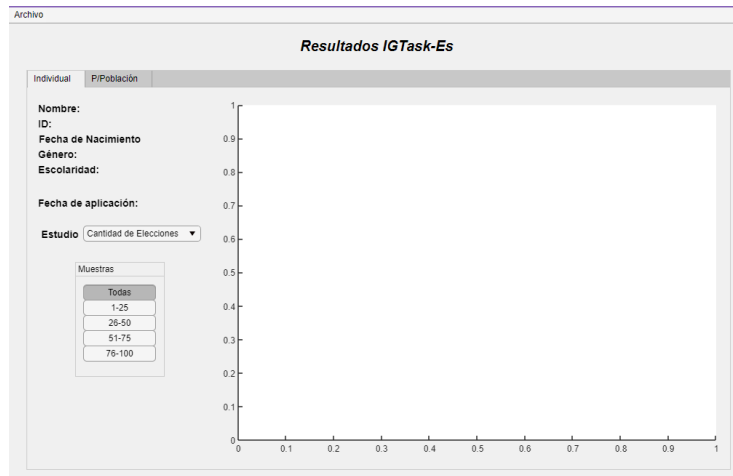


Figura 21 Ventana de Resultados de la interfaz IGTask-Es

Para examinar una muestra, basta con elegir la carpeta donde se localice, accediendo a los archivos de la computadora por medio del menú de la ventana, localizado en la parte superior de la misma. Seleccionada la carpeta, aparecerán los datos generales del participante en la parte superior izquierda de la ventana, con el fin de reconocer a quién pertenece la muestra a estudiar. Para el análisis individual, existen diversos tipos de estudios, los cuales se describen a continuación:

Muestra Individual

- Cantidad de elecciones

Por medio de este estudio, el usuario será capaz de analizar la cantidad de elecciones realizadas por el usuario durante la prueba en forma de histograma (Fig. 22) el total de elecciones realizadas en el periodo seleccionado. Nótese que en este estudio, aparece un menú de botones que permitirán elegir el segmento de muestra que queremos observar, ya

que, como hemos visto en otras ocasiones, la forma más eficaz de segmentar esta prueba para su estudio es por cuartiles.

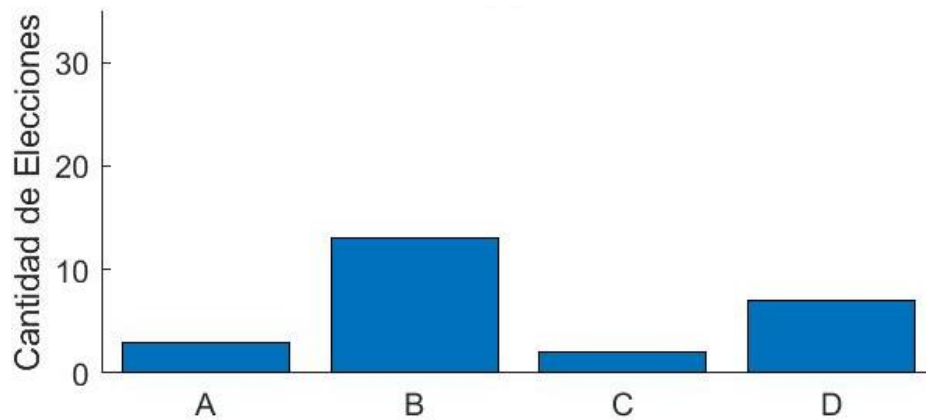


Figura 22: Histograma del total de elecciones (datos no significativos) de la interfaz IGTask-Es

- Ventaja vs. Desventaja

Por medio de esta opción se presentará el gráfico correspondiente a la comparación cuantitativa de las elecciones realizadas a través de la prueba, en función a si pertenecen a los mazos de ventaja o desventaja (Fig. 23). Para realizar esta comparación, como se explicó anteriormente, se dividió la muestra total en cuartiles donde, el primer cuartil reúne desde la elección 1 a la 25, el segundo cuartil de la 26 a la 50, y así sucesivamente, hasta llegar a la elección 100.

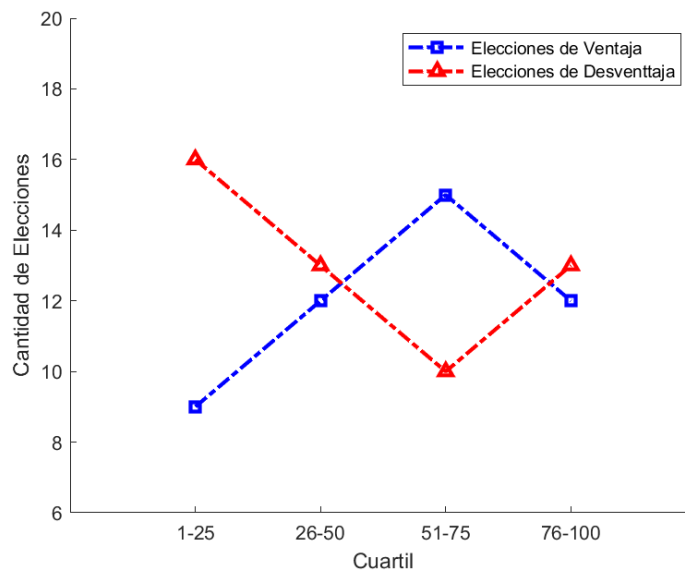


Figura 23 Comparación entre elecciones de ventaja y desventaja (votos no significativos)

- Total acumulado

En este estudio, el usuario es capaz de revisar el total de créditos que el participante tuvo durante su participación en la prueba, de forma que se puede conocer su progresión en función de la cantidad de créditos que fue acumulando (Fig. 24).

En esta gráfica, comúnmente se pueden observar los momentos críticos de la prueba, en qué momento el participante perdió más créditos o, si tuvo alguna estrategia que le hizo tener una racha ganadora.

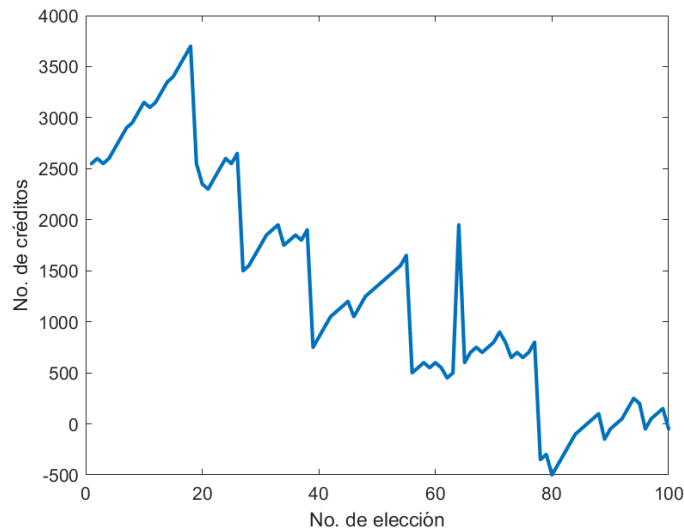


Figura 24. Muestra del total de créditos acumulados (datos no significativos)

- Tiempo

En esta última opción, se analiza la muestra temporal que el participante tuvo durante la prueba. Esta captura los instantes de tiempo en que el participante realiza una opción, por lo que se obtiene la cantidad de segundos que pasan de una elección a otra.

Esta cantidad de segundos se presenta en dos formatos: i) lineal (Fig. 25), donde se observan aquellas decisiones en las que el participante tardó más o menos tiempo, así como la media de tiempo entre elecciones; y ii) por medio de un histograma (Fig. 26), donde se observa la muestra temporal y la cantidad de segundos promedio que le tomó al participante en realizar una elección.

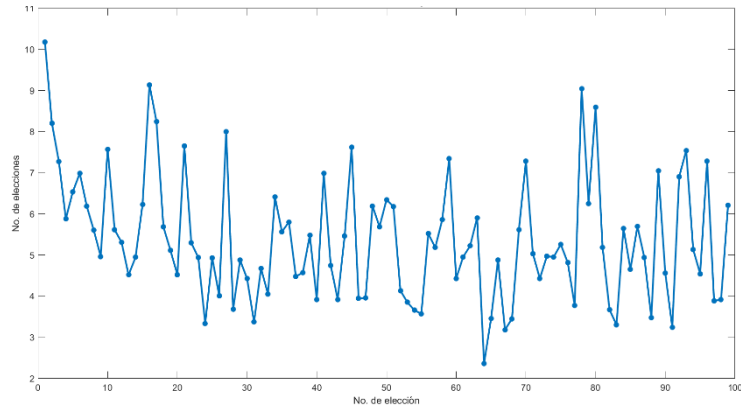


Figura 26. Cadencia temporal, se muestra el tiempo que tarda el participante en tomar cada decisión (datos no significativos).

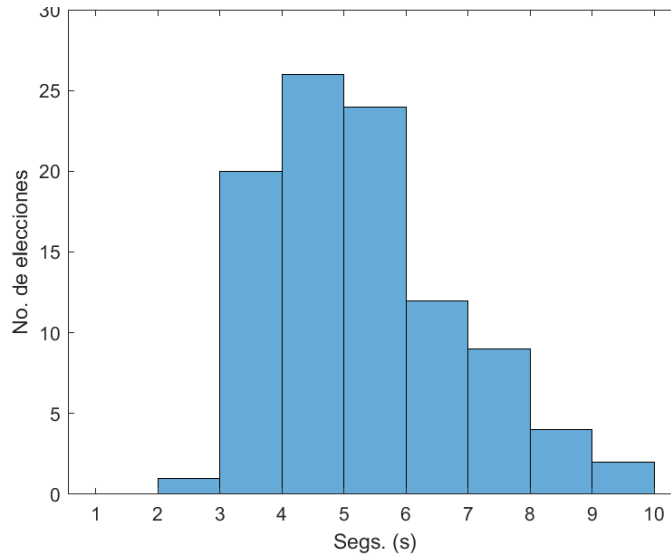


Figura 25: Historial histográfico del tiempo registrado por cada participante (datos no significativos)

Muestra Poblacional

El muestro poblacional se realiza para conocer las distintas características de una población en particular; por medio de distintas herramientas gráficas y estadísticas. Estas características ayudarán al usuario a realizar conjeturas sobre las tendencias o patrones de la muestra poblacional, y si estas tendencias marcan diferencias significativas o muestran anomalías en su capacidad para tomar decisiones. Las discrepancias marcadas entre grupos, deben ser un marcador diferencial que permita reconocer aquel o aquellos grupos que siguieron el tenor de un grupo control. En cada uno de estos estudios, se comparan las muestras cuantitativas en cuartiles, como se ha visto con anterioridad, y se muestran los

resultados en función del comportamiento de la población, en un formato que incluya a la totalidad de la muestra. Los estudios que la ventana de resultados realiza sobre una muestra poblacional se detallan a continuación:

- Cantidad de elecciones

En este estudio, al igual que las observaciones individuales, se revisa la cantidad de elecciones realizadas según el intervalo o cuartil estudiado, con la finalidad de advertir en si existen tendencias selectivas hacia un mazo en particular en función del avance de la prueba. Nótese, que al ser una observación poblacional, este gráfico se presentará por medio de diagramas de caja y bigote, denotando la media poblacional y sus desviaciones estándar.

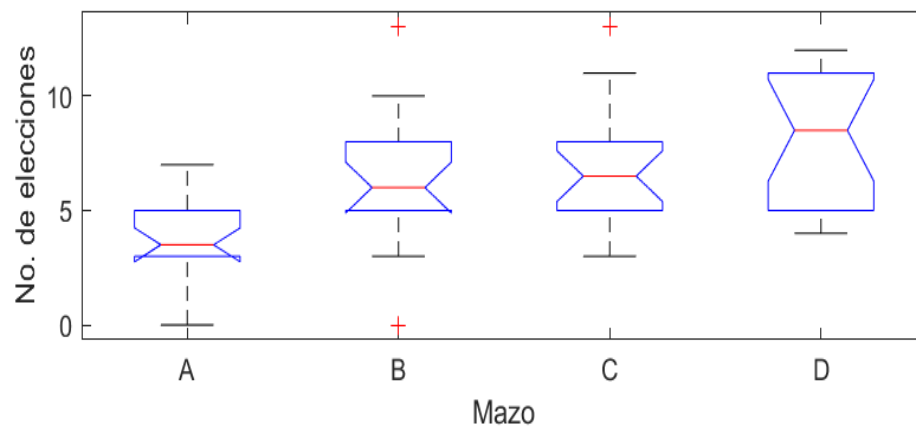


Figura 27: Tendencias de elección en el estudio poblacional (datos no significativos).

- Ventaja vs. Desventaja

De la misma forma que en el análisis individual, se muestran los gráficos que representan la cantidad de elecciones, tanto de ventaja como de desventaja. El objetivo de este gráfico es observar la tendencia de la población hacia los distintos tipos de elección. Siendo este un estudio poblacional, cada una de las gráficas se presenta por

separado (Fig. 28), siendo posible su selección mediante un panel de botones localizado en la parte inferior izquierda de la ventana de resultados.

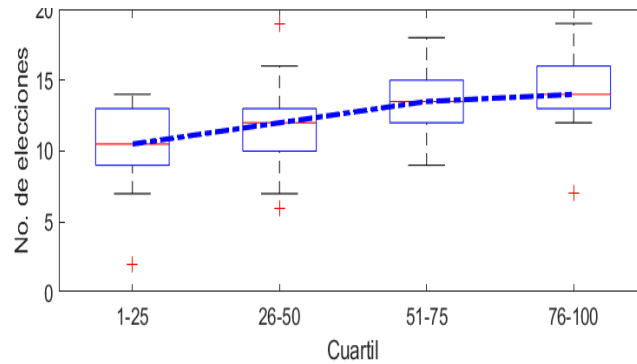


Figura 28. Comparación de elecciones de ventaja por cuartiles (datos no significativos)

- Tiempo

En este estudio, se observa la distribución histográfica del tiempo de latencia de la población; es decir, se analizan por medio de un histograma los tiempos que registró la población para tomar una decisión (Fig. 29). El objetivo de este análisis es reconocer el tiempo modal que la población usó para realizar una elección, y reconocer si existe algún tipo de distribución estadística en la muestra temporal.

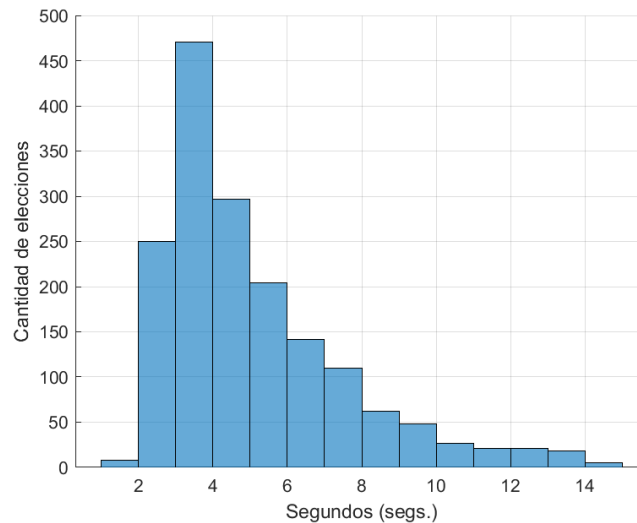
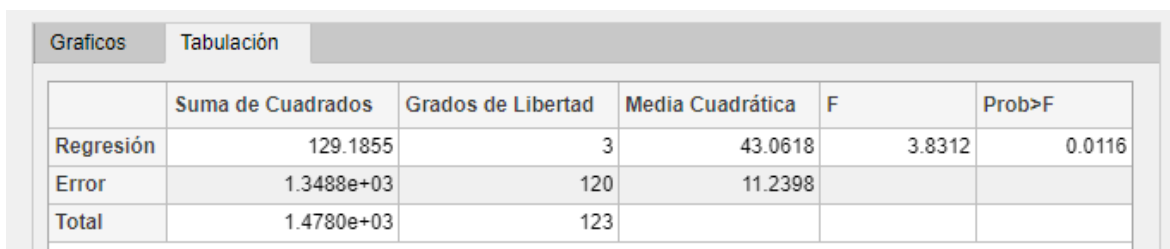


Figura 29: Densidad de tiempo del estudio poblacional (datos no significativos).

- Anova

Para el análisis de la varianza, se han distribuido los resultados en distintas tablas, de las cuales cada una responden a un análisis distinto, brindando al usuario distintos enfoques de un mismo estudio.

Por tanto, por medio del menú dispuesto en la parte inferior izquierda, al igual que en estudios anteriores, se puede acceder a cada enfoque (Fig. 30). Cada una de estas perspectivas de estudio, responde a un objetivo de la investigación; por ejemplo: al analizar las muestras de ventaja, podemos reconocer en si existen diferencias significativas en este tipo de elecciones en cada uno de los cuartiles; de la misma forma se revisan las elecciones de desventaja; sin embargo, cuando se analizan los cuartiles, de uno cada vez, se revisa si existen diferencias significativas en cada segmento de la prueba, conociendo así si existen patrones de seguimiento de las elecciones de ventaja o desventaja. Las opciones previstas para la visualización del estudio ANOVA son: 1) Ventaja, 2) Desventaja, 3) Cuartil 1, 4) Cuartil 2, 5) Cuartil 3 y, 6) Cuartil 4.



	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Prob>F
Regresión	129.1855	3	43.0618	3.8312	0.0116
Error	1.3488e+03	120	11.2398		
Total	1.4780e+03	123			

Figura 30: Tabulación del estudio ANOVA, mediante la interfaz IGTask-Es

- Prueba de Wilcoxon

Por medio de esta prueba, se comparan los rangos medios de dos muestras relacionadas y se determina si existen diferencias entre ellas. Las muestras relacionadas se obtienen a partir de la cantidad de elecciones de ventaja y desventaja realizadas en cada uno de los cuartiles, por ello, la prueba se aplicará en cada uno de los cuartiles, con el objetivo de reconocer las discrepancias que pudiera haber entre los mismos. Se muestran los valores de P, Z, y la suma de rangos (Fig. 31). H es un valor lógico que determina si la hipótesis

alterna (o H_1 , donde las muestras presentan diferencias significativas) se acepta o se rechaza.

	P	H	ZVal	RankSum
Cuartil 1	0.0001	<input checked="" type="checkbox"/>	-3.9101	184.0000
Cuartil 2	0.0690	<input type="checkbox"/>	-1.8182	244.5000
Cuartil 3	0.0056	<input checked="" type="checkbox"/>	2.7708	378.0000
Cuartil 4	0.0001	<input checked="" type="checkbox"/>	3.8952	410.5000

Figura 31. Tabulación de la prueba de Wilcoxon, mediante la interfaz IGTask-Es

- Prueba T (T- test)

Este estudio, al igual que los anteriores, inspecciona dos muestras poblacionales que bien, pueden estar relacionadas o no, examinando si existen diferencias significativas. Estas muestras, que deben ser del tipo cuantitativo, son las mismas inspeccionadas por los estudios estadísticos anteriores, obtenidas a partir del recuento de elecciones de ventaja en cada cuartil. En los resultados se muestran (Fig. 32) los valores de P, C, la T de student, los grados de libertad de cada muestra y su desviación estándar. El valor de H, que es un valor lógico, indica si la hipótesis alterna (o H_1 , donde las muestras presentan diferencias significativas) se acepta o se rechaza.

	H	P	C	Valor de T	Grados de Libertad	Desviación estándar
Cuartil 1	0	0.9976	-7.4835	-3.2770	16.0000	6.1429
Cuartil 2	0	0.8438	-4.4032	-1.0433	16.0000	6.5090
Cuartil 3	1.0000	0.0196	0.5892	2.2458	16.0000	4.8598
Cuartil 4	1.0000	0.0060	2.0086	2.8327	16.0000	7.6201

Figura 32 Tabulación de la prueba T, mediante la interfaz IGTask-Es

5.2 Análisis de resultados

El análisis de los resultados, siguiendo la disposición de la ventana de resultados de la IGTask-Es, se divide en las observaciones realizadas, tanto en términos individuales como poblacionales. A simple vista, parece que las observaciones individuales no contribuyen al planteamiento principal; sin embargo, es importante reconocer de qué forma interactúa cada uno de los participantes con la interfaz, su percepción de los estímulos presentados y la comunicación ocurrida entre el participante y la máquina.

De esta manera, se puede examinar si esta comunicación aporta o disminuye a la aplicación de la prueba. Recordemos que, el reto principal del desarrollo de una prueba neuropsicológica computarizada no sólo es la recreación de un entorno físico en un medio virtual, supeditado a la ejecución de algoritmos y funciones computarizadas; sino que esta

transformación del entorno no afecte al objetivo principal de la prueba, que en resumidas cuentas es ayudar a detectar anomalías presentes a nivel neuropsicológico.

Los resultados individuales de la prueba neuropsicológica tienen distintas observaciones, desde la experiencia de cada participante respecto a su interacción con la interfaz; no obstante, existen reflexiones (que se verán a continuación) que pueden aplicarse a la población de participantes, reconociendo así características propias ya establecidas de la toma de decisiones. De igual forma, se comparan las observaciones individuales a las de la población, reconociendo si estas reflexiones corresponden con lo ocurrido con la población general.

En primera instancia, por medio de la ventana de resultados se pueden denotar los datos del participante, los cuales en este caso permanecerán en el anonimato. Después, como primer estudio, se muestran los histogramas de las decisiones tomadas que muestran diversos patrones de elección según el segmento analizado. Cada participante demostró una cierta diversificación de opciones durante la prueba; sin embargo, en gran parte de las muestras se puede observar (Fig. 33) cómo en el primer cuartil predominan las elecciones realizadas en los mazos de desventaja, que son los que teóricamente proporcionaron mayor cantidad de créditos al participante; y al trasladarnos al último de los cuartiles, se observa una disminución en la cantidad de elecciones ocurridas en estos mazos que, lógicamente, se traduce en un aumento en las elecciones realizadas en mazos de ventaja.

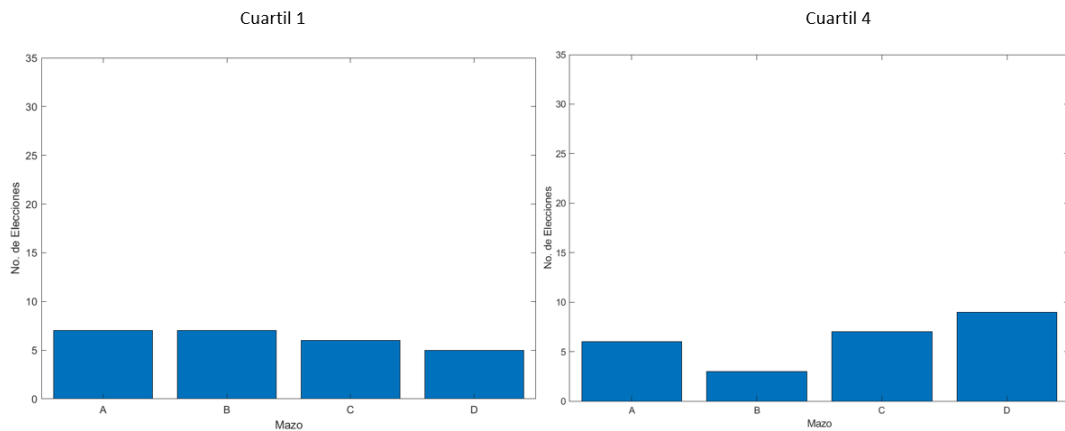


Figura 33 Resultados del sujeto 02 con respecto al total de elecciones realizadas

Además, esta misma premisa se observa en los resultados de la población, donde la media poblacional en sus primeras elecciones opta por los mazos cuya ganancia inmediata es mayor; sin embargo, conforme se avanza en la prueba se observan

alteraciones en el comportamiento electivo, que se refleja en un cambio de preferencias entre mazos, lo cual se hace más evidente en el último segmento de la prueba (Fig. 34).

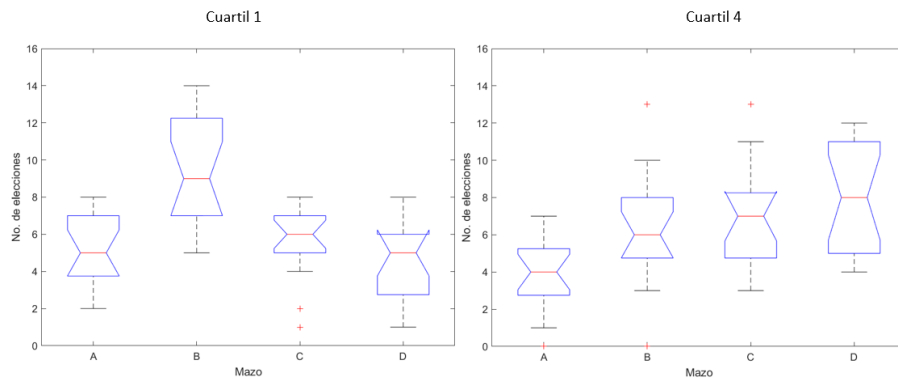


Figura 34. Resultados poblacionales sobre el total de elecciones realizadas

Estos resultados por sí solos, no aceptan o rechazan la premisa principal de efectividad de la IGTask-Es; sin embargo, colaboran en la observación teórica de la prueba IGT, que predice el comportamiento presentado por los sujetos control, que, por medio de su razonamiento analítico, mediante distintas observaciones conscientes llegan a presentar tendencias de elección hacia los mazos C y D.

El segundo de los estudios permite la comparación cuantitativa de elecciones, describiendo la cantidad de elecciones de ventaja realizadas en cada uno de los segmentos de la prueba. En esta Fig. 35, se hace más evidente la tendencia electoral prevista en las figuras anteriores, ya que se puede observar de forma cuantitativa la disminución de elecciones hacia los mazos de desventaja; no así en los mazos de ventaja, donde se observa un aumento en la cantidad de elecciones.

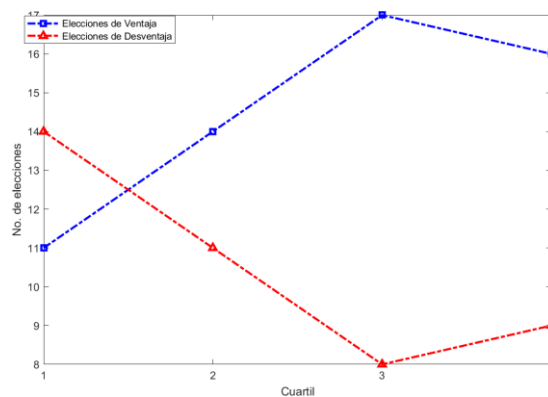


Figura 35. Resultados individuales del sujeto 11. Se muestra la comparación entre los tipos de elecciones

Es de remarcar que este comportamiento no sucedió en cada muestra individual; existen diversos tipos de patrones en cada uno de los participantes, donde la inclinación entre elecciones sucede antes o después del segundo cuartil; sin embargo, como observación general se denota esta bifurcación, en la que las elecciones de ventaja terminan siendo de mayor número (Fig. 36). Es propio decir, que esta inclinación no siempre se ve tan marcada, o existen muestras en las que no sucede, ya que la experiencia individual del participante le hace optar por tomar estrategias que el mismo denominará “riesgosas” (véase conclusiones).

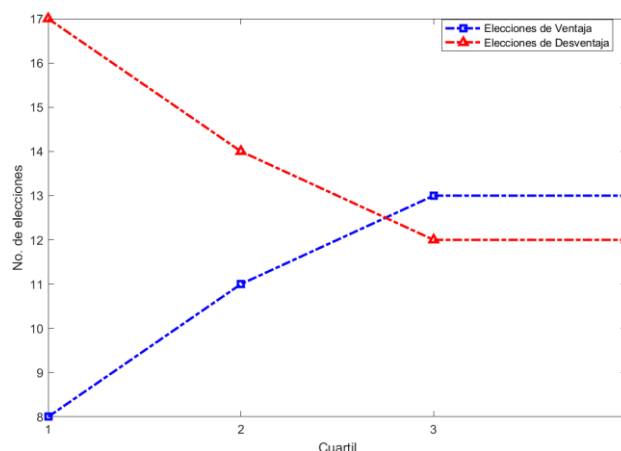


Figura 36 Resultados individuales del sujeto 07, analizando la comparación entre tipos de elecciones

Para comprender más este fenómeno, en los resultados obtenidos mediante el análisis poblacional, se observa este mismo acontecimiento: la población estudiada presenta una clara inclinación por los mazos de ventaja (C y D) (Fig. 37), la cual se hace más evidente mediante los diagramas de caja y bigote.

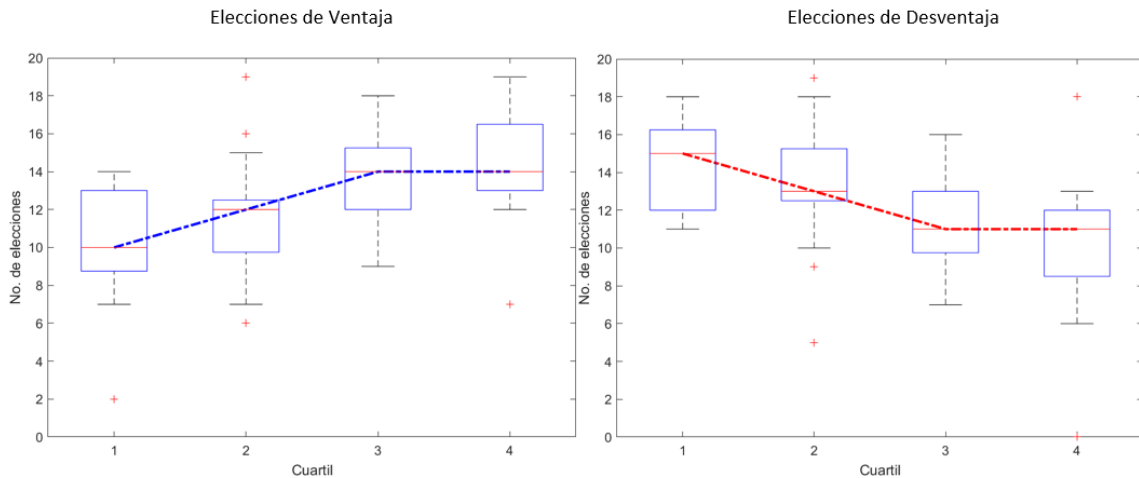


Figura 37 Resultado poblacionales, analizando la comparación entre tipos de elecciones

Continuando con el análisis individual, se grafican los montos totales obtenidos durante la prueba; los cuales, a pesar de la clara inclinación hacia los mazos de ventaja, usualmente presentó propiedades descendientes (Fig. 38), lo que indica que, en lo individual, el estudio de la cantidad de créditos obtenidos por el participante no suele ser un buen indicador del desempeño durante la prueba; es decir, que un sujeto termine la prueba con una gran cantidad de créditos no determina que su participación haya sido más contundente que la de quien terminó la prueba con un número menor de créditos.

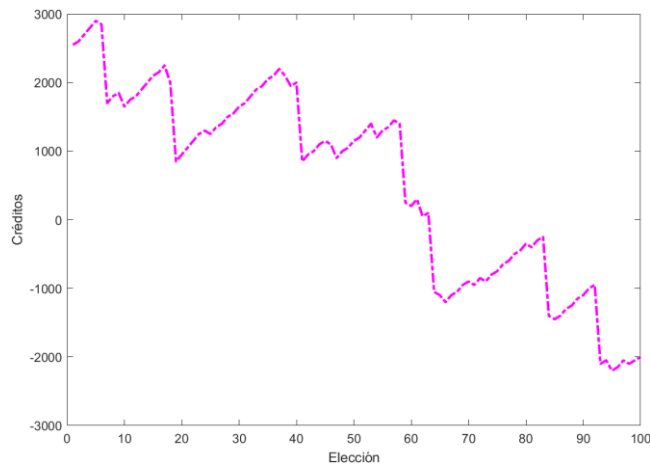


Figura 38. Resultados individuales del sujeto 017. Se analiza el total de créditos acumulados en cada instante de la prueba.

Además, estas mismas observaciones concuerdan con el testimonio de los participantes, que a pesar de que ellos sentían estar tomando buenas elecciones, el total de créditos reflejados solía terminar muy por debajo de lo que esperaban, por lo que muchas veces su estrategia se basó en tomar decisiones que ellos creían “riesgosas”, en las que

sabían que ganarían más créditos que en las opciones “seguras”, aunque el riesgo de perder una gran cantidad de créditos era mayor.

El análisis individual finaliza con la muestra temporal, donde se analiza la cadencia de tiempo presentado por cada elección; en otras palabras, se grafica de forma lineal el tiempo que el participante tardó en realizar cada una de sus elecciones (Fig. 39). En esta gráfica, se puede observar la media temporal sobre la que el participante estuvo realizando la prueba. Se resaltan también aquellas elecciones que tardaron más tiempo en ser realizadas.

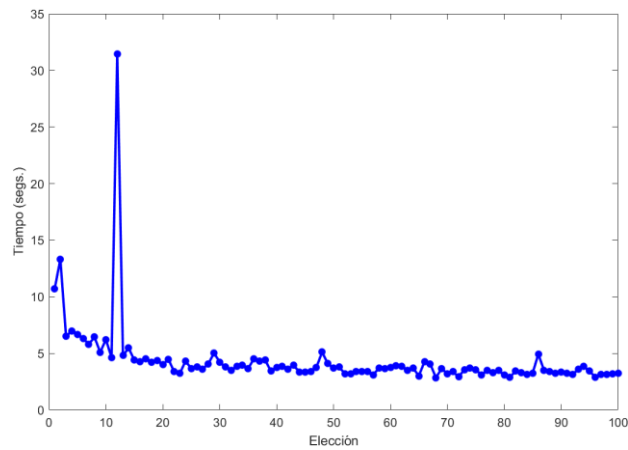


Figura 39. Resultados individuales del sujeto 22. Se analiza la muestra temporal en función del número de elección.

Por otra parte, por medio del análisis histográfico de la muestra (Fig. 40), se observa el intervalo de tiempo más frecuente en el que el participante eligió. Por medio de esta gráfica, se examina la distribución de la muestra temporal, logrando destacar las duraciones de elección más frecuentes.

Incorporado al análisis individual, al término de la aplicación de la prueba, por cada participante se genera un documento de texto, el cual almacena los datos e información del participante de forma tabular, de forma que se pueda acceder rápidamente a ella para un posterior análisis,

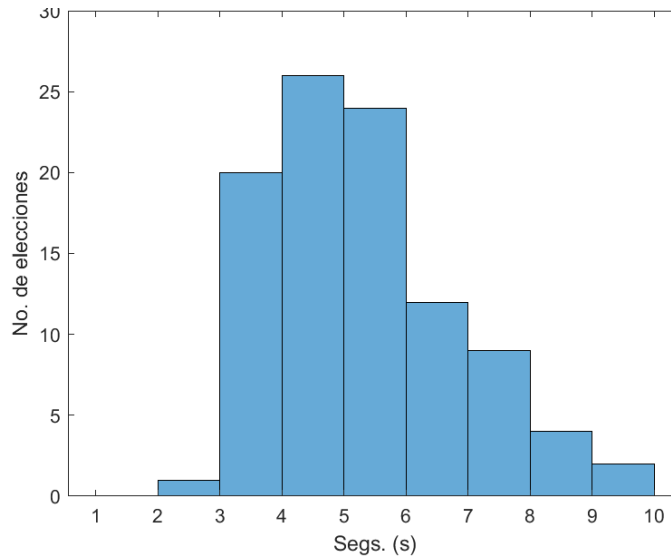


Figura 40. Resultados individuales del sujeto 26. Se analiza la muestra temporal de forma histográfica, mostrando la densidad de los puntos muestreados.

Aunada a estas observaciones, se encuentra el recuento histográfico de la muestra de tiempo poblacional (Fig. 41), donde se denotan las tendencias de cadencia temporal de la población, situadas entre los 2 y los 4 segundos.

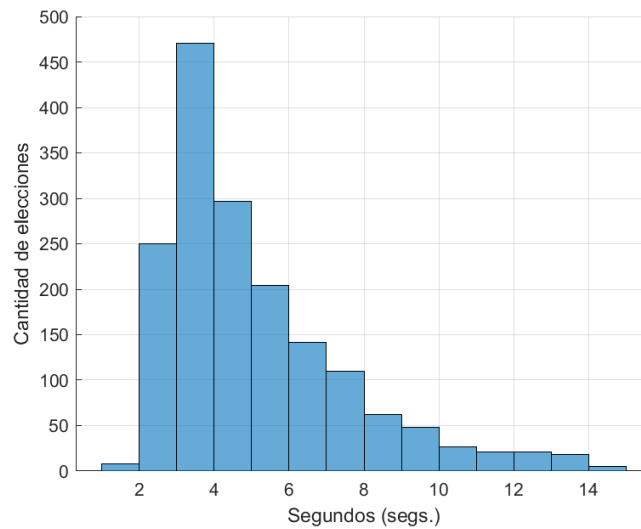


Figura 41 Resultados poblacionales (n=31), donde se muestra de forma histográfica los puntos temporales del grupo analizado

Continuando con el análisis poblacional, se presentan las pruebas estadísticas, las cuales tienen como finalidad reconocer si existen diferencias significativas entre las muestras analizadas. Cada una de las pruebas fue aplicada bajo las mismas condiciones, añadiendo al estudio ANOVA, las comparaciones entre los mazos de ventaja y desventaja. Así, el análisis ANOVA según el tipo de elección, logran denotar diferencias entre cuartiles (Fig. 42), las cuales se hacen más evidentes según se avanza en la prueba. Finalmente, el ANOVA determina que existen diferencias significativas (Ventaja: $\text{Prob}>F=0.016$; Desventaja: $\text{Prob}>F = 0.0119$) entre los cuartiles 1 y 4.

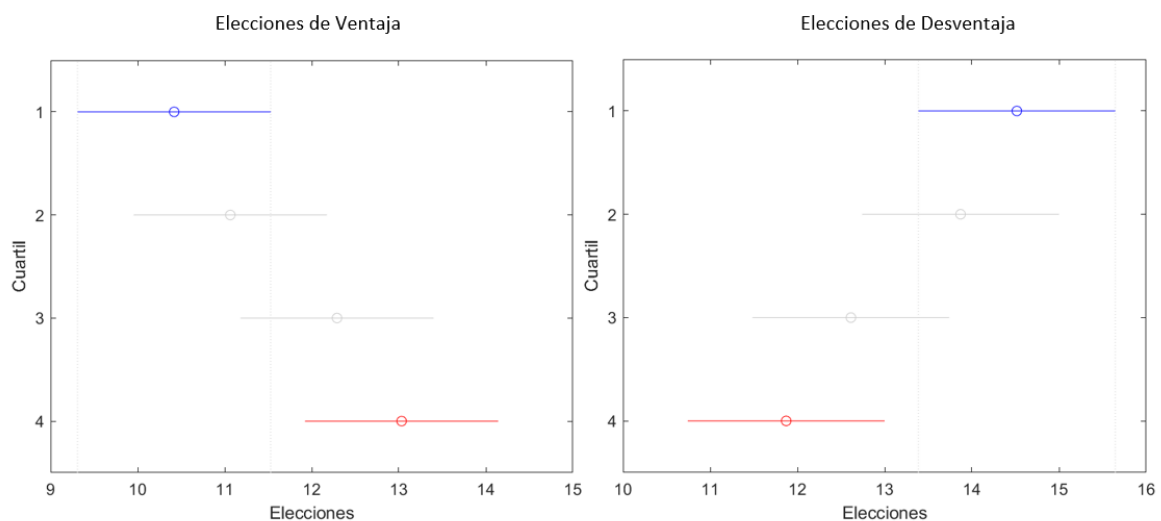


Figura 42: Análisis de varianza (ANOVA) poblacional. A la izquierda: ANOVA para el muestreo cuantitativo de las elecciones de ventaja. A la derecha: ANOVA para las elecciones de desventaja

Por otra parte, el análisis por cuartiles, logra identificar la bifurcación entre tipos de elecciones, la cual aparece entre los cuartiles 2 y 3 (Fig. 43), que concuerda con los análisis estadísticos observados en fuentes anteriores (Aram et al., 2019; Goudriaan et al., 2005).

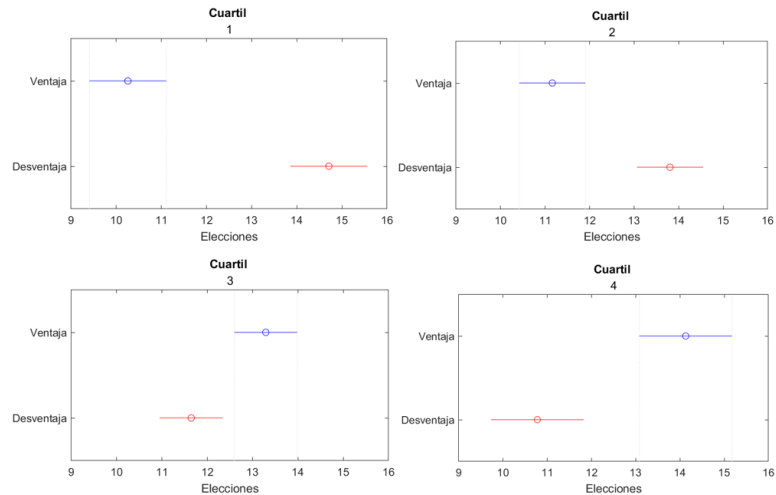


Figura 43. Análisis ANOVA poblacional por cuartiles. Se demuestra la separación cuantitativa del número de elecciones de ventaja, sobre las de desventaja

Este análisis se presenta en la interfaz por medio de la tabulación de cada uno de los resultados ANOVA, de acuerdo con el formato previo (véase 2.3.3). Se advierte finalmente que la ANOVA encuentra diferencias significativas en el cuartil 1 (C1: $F= 21.4770$, $Prob>F=0.0001$), lo que denota tendencia del grupo por aquellas decisiones que le generan una recompensa inmediata. Esta diferencia significativa se ve disminuida en el siguiente cuartil (C2: $F= 2.174$, $Prob>F=0.15$), donde según la teoría se puede inferir en un proceso de aprendizaje, que se ve reflejado en los siguientes cuartiles (C3: $F= 9.97$, $Prob>F=0.0034$; C4: $F= 16.01$, $Prob>F=0.0003$), donde la diferencia entre tipos de elección se torna significativa, respectivamente.

Los estudios estadísticos poblacionales continúan con la prueba T, de tipo pareada para muestras no independientes, la cual se empleó para cada uno de los cuartiles de la prueba IGTask-Es. Los resultados indicaron que en el cuartil 2, no existen diferencias significativas (C2: $P=0.312$, $C=-4.99$); no obstante, en los cuartiles 1, 3 y 4 sí existen estas diferencias (C1: $P= 0.004$, $C=-8.0407$; C3: $P=0.039$, $C=0.148$; C4: $P=0.012$, $C=2.832$). Como se puede observar, en los cuartiles 3 y 4 los valores de la muestra de ventaja muestran superioridad sobre los de los cuartiles 1 y 2, lo que demuestra, nuevamente, esta bifurcación entre los tipos de elecciones (Fig. 43).

Estos resultados son corroborados por medio de la prueba de Wilcoxon, que para los cuartiles 1, 3 y 4 encontró diferencias significativas (C1: $P=0.0001$, $Z=-3.91$; C3: $P=0.0056$, $Z=2.77$; C4: $P=0.0001$, $Z=3.895$); mientras que en el cuartil 2, aunque existieron diferencias, estas no resultaron relevantes (C2: $P=0.069$, $Z=-1.818$).

El conjunto de estos datos, recabados de forma gráfica o numérica, hace evidente el fenómeno cognitivo de aprendizaje por parte de la población, que mediante las herramientas y estímulos que se le proporcionaron, fue capaz de tomar decisiones que le favorecieran, según avanzó en la prueba. Esta y otras conclusiones se debatirán en el siguiente apartado.

VI. CONCLUSIONES

Durante esta investigación, en la que se han dado a conocer distintos aspectos de la neuropsicología y las orientaciones adecuadas ya sea en el área computacional o estadística, existieron dos retos particulares: 1) crear un medio tecnológico-virtual, capaz de recrear en un ambiente computarizado la prueba neuropsicológica IGT, sin que se disipara la efectividad de la misma, y; 2) que este medio computacional (o interfaz gráfica) resultase con la misma o mayor efectividad que los estudios aplicados en un medio físico. Para llevar a cabo este manifiesto, se realizó una investigación teórica, se fundó el sistema metodológico, y se presentaron los resultados, tanto de la interfaz gráfica (presentada como IGTask-Es) como su aplicación en un contexto real con participantes reales, percibiendo sus reacciones y reflexiones y, posteriormente, creando un catálogo de observaciones exteriorizadas tanto para el aplicante de la prueba como de los participantes.

En lo que respecta al diseño de la prueba, los resultados demostraron que, el aplicar la prueba IGT en un medio computarizado no afecta la naturaleza de los retos o consideraciones a las que se expone el sujeto; la IGTask-Es manifestó un comportamiento similar a los datos obtenidos de la prueba original, en cuanto a la cantidad y calidad de estímulos visuales a las que se expone el participante; no obstante, es recomendable añadir estímulos que, beneficiados del medio computacional en el que se trabaja, se adapten a las necesidades físicas del usuario; por ejemplo: si se requiere la participación de un grupo de sujetos con afectaciones totales o parciales en su medio visual, la herramienta pueda utilizar otro tipo de estímulos que interpreten la prueba neuropsicológica al usuario, extendiendo el área de investigación hacia territorios en los que la ejecución de esta prueba hubiese sido impensable.

Por otro lado, se advierte en lo apropiado que fue utilizar el entorno AppDesigner para el diseño de la interfaz; es cierto, que mediante otros lenguajes o medios de programación, el diseño e implementación de una interfaz pudiera ser más eficaz; sin embargo, actualmente AppDesigner se ha posicionado como una herramienta poderosa en el desarrollo de aplicaciones compartidas, por lo que utilizar este medio, pareció ser una decisión conveniente, mostrando e invitando a la comunidad investigadora a utilizar este tipo de ambientes en el desarrollo de aplicaciones.

En la ejecución de la IGTask-Es, como se ha señalado anteriormente, cada sujeto participante tuvo la oportunidad de interpretar los estímulos presentados y la forma en la que se interactúa con ellos; por lo que, es importante remarcar la necesidad de uniformidad

en las instrucciones dadas al participante; es decir, cada una de las instrucciones presentadas a los participantes, debe proporcionar la información suficiente y puntual sobre el nivel de importancia de las decisiones tomadas por cada uno de los sujetos, su interacción con el computador y el nivel de concentración que requiere la participación de una prueba neuropsicológica. Una de las grandes desventajas presentes en la comunicación mediante un ambiente computarizado, es el nivel de concentración al que el sujeto se auto somete, respecto a la presencia física de los elementos que lo estimulan. No es lo mismo, que un individuo palpe cada una de las cartas, y reconozca en ellas (como elemento tangible) la recompensa o el castigo a través de la retroalimentación presente, que observar cada carta mediante un monitor, y que las retroalimentaciones, aunque parezcan similares, se otorguen en un medio virtual. Esto no quiere decir que la aplicación de una prueba computarizada pierda atributos; sino que, es necesaria una participación más consciente y activa de parte del sujeto, que realmente comprenda la demanda de recompensas y que rechace verdaderamente el castigo presente en una retroalimentación negativa; así como la supervisión constante y atenta del evaluador, que complemente de manera óptima al método de investigación.

Además, se sigue cuestionando la efectividad de la aplicación de este tipo de pruebas a la distancia, que no permita la comunicación física con el participante. Es claro, que, según las necesidades presentes en el entorno social, es necesaria la evolución sistemática de los métodos que permiten realizar experimentos con individuos humanos; no obstante, en este tipo de estudios, se argumenta la presencia de un elemento físico y tangible, que preste formalidad a la prueba. En muchas ocasiones, aunque parece que el ambiente dispuesto por el participante a distancia es el apropiado, no cumple con los requerimientos básicos en los que debería ser aplicada una prueba neuropsicológica; asimismo, se reconoce el riesgo de que la prueba pueda ser interrumpida según las circunstancias del participante o del aplicador. Se aclara la trascendencia de un ambiente controlado, usualmente un laboratorio de prueba, donde el participante distinga el elemento científico de aquello que está perpetrando, a fin de contemplar en sí mismo el instrumento elemental en este tipo de investigaciones.

Según los resultados obtenidos por medio de la interfaz y según las retroalimentaciones realizadas con cada uno de los participantes, se lograron observar diferentes cuestionamientos: en primera instancia, se denotó la presencia de un elemento que no se describió en investigaciones anteriores de la IGT, y es la noción de riesgo que se puede

llegar a percibir. En medio de la ejecución de la prueba, en un ambiente que parece ser no favorable (donde el participante ha perdido muchos créditos y aún no reconoce con claridad el método eficaz de respuesta a la prueba), se pueden llegar a presentar 'decisiones de riesgo', las cuales comprometen de forma significativa los resultados que pueda llegar a tener la prueba. Estas decisiones, se basan en la premisa de "lograr recaudar la mayor cantidad de créditos posible"; y, por lo tanto, el participante elige libremente aquellos mazos que, aunque considera son de desventaja, le traen recompensas más grandes y a corto plazo. Este tipo de comportamientos, presentes en mayor o menor medida en cada uno de los participantes, nos hace cuestionar en la trascendencia del tipo elección en el IGT ~~para cada participante~~. Estas fluctuaciones de sensibilidad en cada participante, hace evidente la necesidad de las variantes de la IGT, las cuales responderán a los requerimientos neurológicos de cada grupo estudiado.

El desarrollo de interfaces computacionales para la aplicación de pruebas neuropsicológicas resulta ser una herramienta íntegra en el estudio del comportamiento humano. Actualmente, aunque existen discrepancias, la sociedad se encuentra anegada del factor tecnológico en su existencia: la gran mayoría de sus deberes o tareas no existiría si no estuviera involucrada a un medio tecnológico, por lo que la adaptación del estudio neuropsicológico resulta pertinente y necesario.

En cuanto a optimizaciones a la interfaz computacional, se recomienda establecer por medio de la ventana de configuración las variantes ya instauradas de la prueba IGT, así como la posibilidad de añadir un elemento que permita al usuario diseñar su propia variante de la prueba y guardarla para su posterior aplicación. Se sugiere la división clara entre las ventanas que son para el aplicador de la prueba y aquellas que son para el participante, determinando un principio y un final. Se ve necesaria la presencia de un nuevo elemento dentro de la interfaz: una encuesta; en la que el participante pueda exponer su experiencia, estrategia y metodología en la aplicación de la prueba neuropsicológica, para que quede almacenada dentro de los archivos del participante; ya que, a fin de cuentas, la percepción del usuario es una parte importante en su participación dentro del experimento.

Finalmente, se subraya formalmente que, por medio de los resultados y discusión realizadas en esta investigación, existe validez en la hipótesis descrita con anterioridad, que advierte sobre la efectividad de la interfaz computacional para la aplicación en español de la prueba neuropsicológica IGT (IGTask-Es) según la evidencia demostrada por medio de la experimentación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., & Zambrano, N. (2006). Importance of Interface Design - Problems and Solutions. *Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 18(2), 174–182. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739430010>
- Alatriste Martínez, Y. (2018). *Diseño de interfaz de usuario para la creación de sistemas multimedia para apoyar el desarrollo del lenguaje*.
- Amoss, R. T. (2009). Frontal Alpha and Beta EEG Power Asymmetry and Iowa Gambling Task Performance. *Psychology*.
- Anderson, P., Anderson, V., Lajoie, G., & Anderson, V. (1996). The Clinical Neuropsychologist The tower of London test: Validation and standardization for pediatric populations The Tower of London Test: Validation and Standardization for Pediatric Populat. *The Clinical Neuropsychologist*, 10(1), 54–65. <http://www.tandfonline.com/loi/ntcn20%0Ahttp://dx.doi.org/10.1080/13854049608406663%0Ahttp://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>
- Aram, S., Levy, L., Patel, J. B., Anderson, A. A., Zaragoza, R., Dashtestani, H., Chowdhry, F. A., Gandjbakhche, A., & Tracy, J. K. (2019). The Iowa Gambling Task: A Review of the Historical Evolution, Scientific Basis, and Use in Functional Neuroimaging. *SAGE Open*, 9(3). <https://doi.org/10.1177/2158244019856911>
- Artiola i Fortuny, L., & Heaton, R. K. (1996). Standard versus computerized administration of the Wisconsin Card Sorting Test. *Clinical Neuropsychologist*, 10(4), 419–424. <https://doi.org/10.1080/13854049608406702>
- Bar-Hillel, M., & Wagenaar, W. A. (1991). The perception of randomness. *Advances in Applied Mathematics*, 12(4), 428–454. [https://doi.org/10.1016/0196-8858\(91\)90029-I](https://doi.org/10.1016/0196-8858(91)90029-I)
- Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336–372. <https://doi.org/10.1016/j.geb.2004.06.010>
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *The Science of Mental Health: Volume 7: Personality and Personality Disorder*, 50, 287–296.
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123(11), 2189–2202. <https://doi.org/10.1093/brain/123.11.2189>
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 6(2), 215–225. <https://doi.org/10.1093/cercor/6.2.215>
- Berridge, C. W., & Waterhouse, B. D. (2003). The locus coeruleus-noradrenergic system: Modulation of behavioral state and state-dependent cognitive processes. *Brain Research Reviews*, 42(1), 33–84. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(03\)00143-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(03)00143-7)
- Boyer, C. B., & Merzbach, U. C. (2011). *A history of Mathematics*. John Wiley and Sons.
- Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct validity of the Iowa gambling task. *Neuropsychology Review*, 19(1), 102–114. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9083-4>

- Chairman, A. F. P. (1961). Graphical Symbols for Process Flow Diagram. *American Society of Mechanical Engineers*. <https://doi.org/ASA Y32.11>.
- Charles H., J. (1995). The Müller-Myer illusion. *The Psychological Review*, 7(1), 55–81. <https://psycnet.apa.org/record/1926-02658-001>
- Clark, L., Iversen, S. D., & Goodwin, G. M. (2001). A neuropsychological investigation of prefrontal cortex involvement in acute mania. *American Journal of Psychiatry*, 158(10), 1605–1611. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.10.1605>
- Coello Coello, C. A. (2003). *Breve historia de la computación y sus pioneros*. Fondo de Cultura Económica}.
- Cole, M., Levitin, K., & Luria, A. R. (2014). *The Autobiography of Alexander Luria*. Psychology Press.
- Cortes Camarillo, C. A., Alor Hernández, G., Olivares Zepahua, B. A., Rodríguez Mazahua, L., & Peláez Camarena, S. G. (2016). Análisis comparativo de patrones de diseño de interfaz de usuario para el desarrollo de aplicaciones educativas. *Research in Computing Science*, 126(1), 31–41. <https://doi.org/10.13053/racs-126-1-3>
- Crivellato, E., & Ribatti, D. (2007). Soul, mind, brain: Greek philosophy and the birth of neuroscience. *Brain Research Bulletin*, 71(4), 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.09.020>
- Crowley, P. (2014). Programmable Peripheral Devices. *Journal of Computer Science and Engineering*, 161–243.
- Cummings, J. L. (1995). Anatomic and Behavioral Aspects of Frontal-Subcortical Circuits. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1995.tb38127.x>
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351(1346), 1413–1420. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0125>
- Damasio, A. R. (2015). El Error de Descartes. In *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* (Vol. 53, Issue 9). <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12>
- Dancy, C. L., & Ritter, F. E. (2017). IGT-Open: An open-source, computerized version of the Iowa Gambling Task. *Behavior Research Methods*, 49(3), 972–978. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0759-4>
- Davidson, Richard J; Chapman, J. P. . L. J. C. (1990). Asymmetrical brain electrical activity discriminates between Psychometrically-Matched verbal and spatial Cognitive Tasks. *The Society for Psychological Research*, 27(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1990.tb01970.x>
- de Bonis, A., & de Santis, A. (2000). Randomness in visual cryptography. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1770, 626–638. https://doi.org/10.1007/3-540-46541-3_52

- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, *284*(5416), 970–974. <https://doi.org/10.1126/science.284.5416.970>
- Demakis, G. J. (2004). Frontal lobe damage and tests of executive processing: A meta-analysis of the Category Test, Stroop Test, and Trail-Making Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *26*(3), 441–450. <https://doi.org/10.1080/13803390490510149>
- Demakis, G. J. (2006). Meta-analysis in neuropsychology: Basic approaches, findings, and applications. *Clinical Neuropsychologist*, *20*(1), 10–26. <https://doi.org/10.1080/13854040500203282>
- Di Chiara, G., Bassareo, V., Fenu, S., De Luca, M. A., Spina, L., Cadoni, C., Acquas, E., Carboni, E., Valentini, V., & Lecca, D. (2004). Dopamine and drug addiction: The nucleus accumbens shell connection. *Neuropharmacology*, *47*(SUPPL. 1), 227–241. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2004.06.032>
- Domjan, M. (2005). Pavlovian conditioning: A functional perspective. *Annual Review of Psychology*, *56*, 179–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141409>
- Dunn, B. D., Dalgleish, T., & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: A critical evaluation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *30*(2), 239–271. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.07.001>
- Duraes, D. et alies. (2016). Using computer peripheral devices to measure attentiveness. *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, 147–155.
- Durán, O.-S. M. (2009). La Neuropsicología en México. *Revista Neuropsicológica, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, *2*(5), 255. ???
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, *51*(4), 380–417. <https://doi.org/10.1037/h0053870>
- Efron, B. (1969). Student's t-Test under Symmetry Conditions. *Journal of the American Statistical Association*, *64*(328), 1278–1302. <https://doi.org/10.1080/01621459.1969.10501056>
- Ernst, M., & Paulus, M. P. (2005). Neurobiology of decision making: A selective review from a neurocognitive and clinical perspective. *Biological Psychiatry*, *58*(8), 597–604. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.06.004>
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: Patient EVR. *Neurology*, *35*(12), 1731–1741. <https://doi.org/10.1212/wnl.35.12.1731>
- Evens, R., Hoefler, M., Biber, K., & Lueken, U. (2016). The Iowa Gambling Task in Parkinson's disease: A meta-analysis on effects of disease and medication. In *Neuropsychologia* (Vol. 91, pp. 163–172). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.032>
- F., W. T., & Fisher, R. A. (1931). Statistical Methods for Research Workers. *Biometrics*, *27*(4), 1106. <https://doi.org/10.2307/2528855>
- Finger, S. (2013). History of Neuropsychology. In *Neuropsychology: Vol. i* (Second Edi).

ACADEMIC PRESS, INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092668-1.50007-7>

- Gold, P. E. (2003). Acetylcholine modulation of neural systems involved in learning and memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 80(3), 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2003.07.003>
- Gordillo León, F., Arana Martínez, J., Salvador Cruz, J., & Mestas Hernández, L. (2011). Emoción Y Toma De Decisiones: Teoría Y Aplicación De La Iowa Gambling Task. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 14(1), 333–353.
- Goudriaan, A. E., Oosterlaan, J., De Beurs, E., & Van Den Brink, W. (2005). Decision making in pathological gambling: A comparison between pathological gamblers, alcohol dependents, persons with Tourette syndrome, and normal controls. *Cognitive Brain Research*, 23(1), 137–151. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.017>
- Gross, C. G. (1995). Aristotle on the Brain. *The Neuroscientist*, 1(4), 245–250. <https://doi.org/10.1177/107385849500100408>
- Guevara, M. A., Rizo, L., Ruiz-Díaz, M., & Hernández-González, M. (2009). HANOIPC3: A computer program to evaluate executive functions. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 95(2), 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.02.007>
- Hardy, G. H., & Wright, E. . (1983). *An Introduction to the Theory of Numbers*. Oxford University Press.
- Harlow, J. M. (1993). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *History of Psychiatry*, 4(14), 274–281. <https://doi.org/10.1177/0957154X9300401407>
- Harris, T., & Hardin, J. W. (2013). Exact Wilcoxon signed-rank and Wilcoxon Mann-Whitney ranksum tests. *Stata Journal*, 13(2), 337–343. <https://doi.org/10.1177/1536867x1301300208>
- Harrison, I. W., & Jansson, B. (1967). Random Number Generators. *Or*, 18(3), 327. <https://doi.org/10.2307/3006992>
- Howieson, D. (2019). Current limitations of neuropsychological tests and assessment procedures. *Clinical Neuropsychologist*, 33(2), 200–208. <https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1552762>
- La Rue, A., Romero, L. J., Ortiz, I. E., Chi Liang, H., & Lindeman, R. D. (1999). Neuropsychological performance of Hispanic and non-Hispanic older adults: An epidemiologic survey. *Clinical Neuropsychologist*, 13(4), 474–486. [https://doi.org/10.1076/1385-4046\(199911\)13:04;1-Y;FT474](https://doi.org/10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT474)
- Lam, F. C., & Longnecker, M. T. (1983). A modified Wilcoxon rank sum test for paired data. *Biometrika*, 70(2), 510–513. <https://doi.org/10.1093/biomet/70.2.510>
- Levine-Gutiérrez, G. (1990). *Introducción a la Computación y a la Programación estructurada*. Mc Graw Hill.
- Levis, D. (2006). ¿Qué es la realidad virtual? *Creative Commons Atributions*, 1–28. <http://www.diegolevis.com.ar>
- Li, X., Lu, Z. L., D'Argembeau, A., Ng, M., & Bechara, A. (2010). The Iowa Gambling Task in fMRI images. *Human Brain Mapping*, 31(3), 410–423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20875>

- Loring, D. W. (1991). A counterpoint to Reitan's note on the history of clinical neuropsychology. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 6(3), 167–171. [https://doi.org/10.1016/0887-6177\(91\)90031-4](https://doi.org/10.1016/0887-6177(91)90031-4)
- Marsaglia, G. (1985). A Current View of Random Number Generators. *Computer Science and Statistics, 16th Symposium on the Interface*, 3–10.
- Matsumoto, M., & Nishimura, T. (1998). Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 8(1), 3–30. <https://doi.org/10.1145/272991.272995>
- Meinwald, C. C., & Bostock, C. (1989). Plato's Phaedo. *Oxford University Press*, 98, 127. [https://doi.org/Meinwald, C. C., & Bostock, D. \(1989\). Plato's Phaedo. The Philosophical Review, 98\(1\), 127. doi:10.2307/2185382](https://doi.org/Meinwald, C. C., & Bostock, D. (1989). Plato's Phaedo. The Philosophical Review, 98(1), 127. doi:10.2307/2185382)
- Noyes, J. M., & Garland, K. J. (2003). Solving the Tower of Hanoi: Does mode of presentation matter? *Computers in Human Behavior*, 19(5), 579–592. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(03\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(03)00002-5)
- Pontón, M. O. (1999). *The Future of Neuropsychology with Hispanic Populations in the United States*. 14(7), 565–580.
- Potochnik, A., Colombo, M., Wright, C., Potochnik, A., Colombo, M., & Wright, C. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean Journal of Anesthesiology Statistical, Table 2*, 167–206. <https://doi.org/10.4324/9781315686875-6>
- Rahimov, H., Babaie, M., & Hassanabadi, H. (2011). Improving Middle Square Method RNG Using Chaotic Map. *Applied Mathematics*, 02(04), 482–486. <https://doi.org/10.4236/am.2011.24062>
- Rocca, J. (2003). *Galen on the brain: Anatomical knowledge and physiological speculation in the second century AD*. Brill. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FsyiDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=galen+brain+theory&ots=fWMZUFqKrB&sig=gDDpuKfas7c2cBm4kY-wNqbJj4Y#v=onepage&q=galen brain theory&f=false>
- Rolleston, J. D. (1931). J. B. Bouillaud. A Pioneer in Cardiology and Neurology. *Section of the History of Medicine*.
- Romano, J. R. L.-P. (2018). *La gran transición: retos y oportunidades del cambio tecnológico*. Fondo de Cultura Económica.
- Rufo-Campos, M. (2006). La neuropsicología: Historia, conceptos básicos y aplicaciones. *Revista de Neurología*, 43(SUPPL. 1), 57–58. <https://doi.org/10.33588/rn.43s01.2006392>
- Ryan, M.-L. (2004). *La Narración Como Realidad Virtual: La Inmersión Y La Interactividad En La Literatura Y En Los Medios Electrónicos*.
- Schutter, D. J. L. G., De Haan, E. H. F., & Van Honk, J. (2004). Anterior asymmetrical alpha activity predicts Iowa gambling performance: Distinctly but reversed. *Neuropsychologia*, 42(7), 939–943. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.11.014>
- Siedlecki, K. L., Manly, J. J., Brickman, A. M., Schupf, N., Tang, M. X., & Stern, Y. (2010).

Do neuropsychological tests have the same meaning in spanish speakers as they do in english speakers? *Neuropsychology*, 24(3), 402–411. <https://doi.org/10.1037/a0017515>

- Sigerist, H. E. (1951). *A History of Medicine: Early Greek, Hindu, and Persian medicine* (No. 27). Oxford University Press.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and Human Behavior* (1st ed.). Free Press.
- Sobotka, S. S., Davidson, R. J., & Senulis, J. A. (1992). *Anterior brain electrical asymmetries in response to reward and punishment*. 83, 236–247.
- Sousa, D. A. (2014). *Neurociencia Educativa. Mente, cerebro y educación*. (S. A. E. Narcea (ed.)).
- Spreen, O. S. E. (1998). *A Compendium Of Neuropsychological Tests* (2nd Editio). Oxford University Press. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Cly0_GH4ubIC&oi=fnd&pg=PR9&dq=compendium+of+neuropsychological+tests&ots=UTWv-vh_mU&sig=m2AXCnJbg5eWCTbBFPxjrj5txmCg#v=onepage&q&f=false
- Stelmack, R. M., & Stalikas, A. (1991). Galen and the humour theory of temperament. *Personality and Individual Differences*, 12(3), 255–263. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(91\)90111-N](https://doi.org/10.1016/0191-8869(91)90111-N)
- Stockmeyer P. K., L. F. (2008). Variations on the Tower of Hanoi Puzzle. *Thirteenth International Conference on Fibonacci Numbers and Their Applications*, 1–8.
- Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2331554>
- Taylor, P., Herr, D. G., & Herr, D. G. (2012). *On the History of ANOVA in Unbalanced , Factorial Designs : The First 30 Years On the History of ANOVA in Unbalanced , Factorial Designs : The First 30 Years*. February 2015, 37–41. <https://doi.org/10.1080/00031305.1986.10475409>
- Thorndike, E. L. (1922). The Effect of Changed Data upon Reasoning. *Journal of Experimental Psychology*, 5(1), 33–38. <https://doi.org/10.1037/h0072415>
- Trujillo, L., & Martín-landrove, M. (1999). *Aleatoriedad y Caos*. June 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30293.06887>
- Tunstall, J. R., O’Gorman, J. G., & Shum, D. H. K. (2016). A four-disc version of the Tower of London for clinical use. *Journal of Neuropsychology*, 10(1), 116–129. <https://doi.org/10.1111/jnp.12060>
- Tuokko, H. A., Chou, P. H. B., Bowden, S. C., Simard, M., Ska, B., & Crossley, M. (2009). Partial measurement equivalence of French and English versions of the Canadian Study of Health and Aging neuropsychological battery. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15(3), 416–425. <https://doi.org/10.1017/S1355617709090602>
- Vance, A., Anderson, B. B., Kirwan, C. B., & Eargle, D. (2014). Journal of the Association for Information Using Measures of Risk Perception to Predict Information Security Behavior : Insights from Using Measures of Risk Perception to Predict Information Security Behavior : Insights from. *Journal of the Association for Information Systems*,

15(Special Issue), 679–722.

- Wagenaar, W. A. (1972). Generation of random sequences by human subjects: A critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, 77(1), 65–72. <https://doi.org/10.1037/h0032060>
- Walpole. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias* (9va Edicio). Pearson.
- Wei, G., Guoyin, Z., Yanmei, L., & Weihua, C. (2008). Research and realization of random encryption algorithm. *Proceedings ICICSE 2008 - 2008 International Conference on Internet Computing in Science and Engineering*, 23–26. <https://doi.org/10.1109/ICICSE.2008.105>
- Wilcoxon, F. (1947). Probability Tables for Individual Comparisons by Ranking Methods Frank Wilcoxon. *American Cyanamid Company*, 3(3), 119–122. <https://doi.org/doi:10.2307/3001946>
- Wilkinson, D. J. (2011). *Stochastic Moedelling for Systems Biology*. CRC Press.
- Wyart, M., Jausse, I., Ritchie, K., Abbar, M., Jollant, F., & Courtet, P. (2016). Iowa gambling task performance in elderly persons with a lifetime history of suicidal acts. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 24(5), 399–406. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2015.12.007>

VIII. ANEXOS

8.1 Tabla de valores críticos (prueba T)

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

8.2 Tabla de valores críticos (prueba de Wilcoxon)

n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.		
2	0	0'250	3	7	0	0'008	28	9	0	0'002	45		
	1	0'500	2		1	0'016	27		1	0'004	44		
3	0	0'125	6	7	2	0'023	26	9	2	0'006	43		
	1	0'250	5		3	0'039	25		3	0'010	42		
	2	0'375	4		4	0'055	24		4	0'014	41		
4	3	0'625	3	7	5	0'078	23	9	5	0'020	40		
	0	0'062	10		6	0'109	22		6	0'027	39		
	1	0'125	9		7	0'148	21		7	0'037	38		
	2	0'188	8		8	0'188	20		8	0'049	37		
	3	0'312	7		9	0'234	19		9	0'064	36		
5	4	0'438	6	7	10	0'289	18	9	10	0'082	35		
	5	0'562	5		11	0'344	17		11	0'102	34		
	0	0'031	15		8	12	0'406		16	10	12	0'125	33
	1	0'062	14			13	0'469		15		13	0'150	32
	2	0'094	13			14	0'531		14		14	0'180	31
	3	0'156	12			0	0'004		36		15	0'213	30
	4	0'219	11			1	0'008		35		16	0'248	29
5	0'312	10	2	0'012		34	17	0'285	28				
6	0'406	9	3	0'020		33	18	0'326	27				
6	7	0'500	8	4	0'027	32	19	0'367	26				
	0	0'016	21	5	0'039	31	20	0'410	25				
	1	0'031	20	6	0'055	30	21	0'455	24				
	2	0'047	19	7	0'074	29	22	0'500	23				
	3	0'078	18	8	0'098	28	10	0	0'001	55			
	4	0'109	17	9	0'125	27		1	0'002	54			
	5	0'156	16	10	0'156	26		2	0'003	53			
	6	0'219	15	11	0'191	25		3	0'005	52			
	7	0'281	14	12	0'230	24		4	0'007	51			
	8	0'344	13	13	0'273	23		5	0'010	50			
	9	0'422	12	14	0'320	22		6	0'014	49			
10	0'500	11	15	0'371	21	7		0'019	48				
			16	0'422	20	8		0'024	47				
			17	0'473	19	9		0'032	46				
			18	0'527	18	10		0'042	45				

n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.			
10	11	0'053	44	11	25	0'260	41	12	33	0'339	45			
	12	0'065	43		26	0'289	40		34	0'367	44			
	13	0'080	42		27	0'319	39		35	0'396	43			
	14	0'097	41		28	0'350	38		36	0'425	42			
	15	0'116	40		29	0'382	37		37	0'455	41			
	16	0'138	39		30	0'416	36		38	0'485	40			
	17	0'161	38		31	0'449	35		39	0'515	39			
	18	0'188	37		32	0'483	34		13	0	0'000	91		
	19	0'216	36		33	0'517	33			1	0'000	90		
	20	0'246	35		12	0	0'000			78	2	0'000	89	
	21	0'278	34			1	0'000			77	3	0'001	88	
	22	0'312	33			2	0'001			76	4	0'001	87	
	23	0'348	32			3	0'001			75	5	0'001	86	
	24	0'385	31			4	0'002			74	6	0'002	85	
	25	0'423	30			5	0'002			73	7	0'002	84	
	26	0'461	29			6	0'003			72	8	0'003	83	
	27	0'500	28			7	0'005			71	9	0'004	82	
	11	0	0'000			66	8			0'006	70	10	0'005	81
		1	0'001			65	9			0'008	69	11	0'007	80
		2	0'001			64	10			0'010	68	12	0'009	79
		3	0'002			63	11			0'013	67	13	0'011	78
		4	0'003			62	12			0'017	66	14	0'013	77
		5	0'005			61	13			0'021	65	15	0'016	76
		6	0'007			60	14			0'026	64	16	0'020	75
		7	0'009			59	15			0'032	63	17	0'024	74
		8	0'012			58	16			0'039	62	18	0'029	73
		9	0'016			57	17			0'046	61	19	0'034	72
10		0'021	56	18		0'055	60	20		0'040	71			
11		0'027	55	19		0'065	59	21		0'047	70			
12		0'034	54	20		0'076	58	22		0'055	69			
13		0'042	53	21		0'088	57	23		0'064	68			
14		0'051	52	22		0'102	56	24		0'073	67			
15		0'062	51	23		0'117	55	25		0'084	66			
16		0'074	50	24		0'133	54	26		0'095	65			
17		0'087	49	25		0'151	53	27	0'108	64				
18		0'103	48	26		0'170	52	28	0'122	63				
19		0'120	47	27	0'190	51	29	0'137	62					
20		0'139	46	28	0'212	50	30	0'153	61					
21		0'160	45	29	0'235	49	31	0'170	60					
22		0'183	44	30	0'259	48	32	0'188	59					
23		0'207	43	31	0'285	47	33	0'207	58					
24	0'232	42	32	0'311	46	34	0'227	57						

n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.	n	Cola izda.	p	Cola dcha.	
13	35	0'249	56	14	31	0'097	74	15	20	0'011	100	
	36	0'271	55		32	0'108	73		21	0'013	99	
	37	0'294	54		33	0'121	72		22	0'015	98	
	38	0'318	53		34	0'104	71		23	0'018	97	
	39	0'342	52		35	0'148	70		24	0'021	96	
	40	0'368	51		36	0'163	69		25	0'024	95	
	41	0'393	50		37	0'179	68		26	0'028	94	
	42	0'420	49		38	0'196	67		27	0'032	93	
	43	0'446	48		39	0'213	66		28	0'036	92	
	44	0'473	47		40	0'232	65		29	0'042	91	
	45	0'500	46		41	0'251	64		30	0'047	90	
	14	0	0'000		105	42	0'271		63	31	0'053	89
		1	0'000		104	43	0'292		62	32	0'060	88
		2	0'000		103	44	0'313		61	33	0'068	87
		3	0'000		102	45	0'335		60	34	0'078	86
4		0'000	101	46	0'357	59	35	0'084	85			
5		0'001	100	47	0'380	58	36	0'094	84			
6		0'001	99	48	0'404	57	37	0'104	83			
7		0'001	98	49	0'428	56	38	0'115	82			
8		0'002	97	50	0'452	55	39	0'126	81			
9		0'002	96	51	0'476	54	40	0'138	80			
10		0'003	95	52	0'500	53	41	0'161	79			
11		0'003	94	15	0	0'000	120	42	0'165	78		
12		0'004	93		1	0'000	119	43	0'180	77		
13		0'005	92		2	0'000	118	44	0'195	76		
14		0'007	91		3	0'000	117	45	0'211	75		
15	0'008	90	4		0'000	116	46	0'227	74			
16	0'010	89	5		0'000	115	47	0'244	73			
17	0'012	88	3		0'000	114	48	0'262	72			
18	0'015	87	7		0'001	113	49	0'281	71			
19	0'018	86	8		0'001	112	50	0'300	70			
20	0'021	85	9		0'001	111	51	0'319	69			
21	0'025	84	10		0'001	110	52	0'339	68			
22	0'029	83	11		0'002	109	53	0'360	67			
23	0'034	82	12		0'002	108	54	0'381	66			
24	0'039	81	13		0'003	107	55	0'402	65			
25	0'045	80	14		0'003	106	56	0'423	64			
26	0'052	79	15	0'004	105	57	0'445	63				
27	0'059	78	16	0'005	104	58	0'467	62				
28	0'068	77	17	0'006	103	59	0'489	61				
29	0'077	76	18	0'008	102	60	0'511	60				
30	0'086	75	19	0'009	101							

8.3 Consentimiento Informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Solicitamos su participación voluntaria para un estudio científico, el cual consistirá en la aplicación de una prueba neuropsicológica computarizada, para evaluar aspectos relacionados con sus habilidades cognitivas.

INFORMACIÓN

1. Los procedimientos que se seguirán son métodos no invasivos.
2. Su identidad se mantendrá anónima.
3. Todos los datos que resulten relevantes para nuestro interés científico serán publicados en la investigación "Interfaz Computacional para la aplicación en español de la prueba neuropsicológica Iowa Gambling Task", como parte de una tesis para obtener el título de "Ingeniero Biomédico".

LUGAR Y DÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación se realizará en el día, hora e instalaciones que decidan de común acuerdo el evaluador (a) y el (la) participante.

Si en algún momento usted tiene preguntas acerca de este estudio o los procedimientos, puede usted contactar al responsable: Manuel Chávez Sánchez, correo electrónico: Manuel_ChavezS132@outlook.com; manuel.chavez2913@alumnos.udg.mx.

PARTICIPACIÓN

Su participación en este estudio es voluntaria. Si usted decide en cualquier momento no participar, puede retirarse sin problema alguno.

CONSENTIMIENTO

He leído este formato y todas mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente. Por consiguiente, estoy de acuerdo en participar en este estudio.

Nombre y firma del (la) participante:

Tala, Jalisco a _____ de _____ de 20__

8.4 Manual de Usuario de la Interfaz

[ManualDeUsuario_V01.docx](#)