



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis estadístico de datos experimentales de tiempos de
respuesta*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Elena Mesas López

DIRECTORES: Alicia Vázquez Carpentier

CURSO ACADÉMICO: 2025-2026

Universida_deVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis estadístico de datos experimentales de tiempos de
respuesta*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

RESUMEN

El presente trabajo de fin de Grado tiene como objetivo analizar el rendimiento cognitivo de los alumnos de la Escuela Naval Militar mediante el estudio de los tiempos de respuesta en un entorno real de instrucción naval. Para ello, se trabajó con datos experimentales recogidos antes y después de sus actividades de navegación durante un periodo de nueve semanas.

El análisis que se ha llevado a cabo se apoya en las herramientas que proporciona la estadística descriptiva, comparativa y correlacional, con el fin de caracterizar el comportamiento de los tiempos de respuesta, la variabilidad que presentan, y su relación con las variables fisiológicas, contextuales, y operativas presentes.

Los resultados muestran que los tiempos de respuesta presentan distribuciones asimétricas con alta variabilidad. Evidencian una tendencia general a disminuir tras la navegación. Este comportamiento sugiere que las salidas a la mar pueden tener un impacto de activación cognitiva, asociados a factores como la oxigenación, liberación de tensión tras completar los ejercicios, y familiaridad con la tarea.

Además, lejos de observarse el clásico compromiso entre la velocidad y la precisión, los resultados ponen de manifiesto lo contrario: los individuos con un mejor rendimiento cognitivo responden más rápidamente a las preguntas y con un mayor grado de precisión.

En conjunto, el estudio demuestra la utilidad de los tiempos de respuesta como herramienta para evaluar el rendimiento cognitivo en entornos operativos reales y de alta exigencia. Cabe destacar la influencia de múltiples factores y la necesidad de continuar las investigaciones de este tipo.

PALABRAS CLAVE

Tiempos de respuesta, rendimiento cognitivo, procesamiento de la información, análisis estadístico, entorno operativo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecerle a la Sra Vázquez por toda su dedicación y su flexibilidad durante este Trabajo de Fin de Grado. Juntas hemos conseguido sacarlo adelante. Muchas gracias también a la Sra Álvarez por suministrarnos los datos que necesitábamos para trabajar y el asesoramiento de su estructuración.

Muchas gracias a Ana Robes por haberme dedicado su tiempo con algunas sesiones para ayudarme a sacarle partido a Microsoft Excel como herramienta esencial para este trabajo. De lo contrario, hubiese tardado muchísimo más en filtrar todo el conjunto de datos.

Muchísimas gracias a mis padres y a mi hermana por todo, por haber confiado en mí desde el primer momento, por haberme dado todo lo que no han tenido, y todo lo que me ha podido hacer falta siempre. Sin vosotros no hubiese llegado lejos.

Gracias a todos mis camaradas, especialmente a mis más cercanas, por enseñarme el significado de compañerismo y haberme brindado los mejores momentos de la carrera.

Y por último pero no menos importante, a mi Jaimiño, que ha hecho de mi año de sprint final el mejor de todos, pudiendo admirarle a la vez que quererle.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Organización del trabajo	10
2 Estado del arte	13
2.1 Rendimiento cognitivo y tiempos de respuesta.....	13
2.2 Factores que influyen en los tiempos de respuesta	14
2.2.1 Estrés.....	14
2.2.2 Fatiga y privación del sueño	15
2.2.3 Entorno operativo y carga cognitiva.....	15
2.3 Tratamiento estadístico de los tiempos de respuesta.....	16
2.3.2 Variabilidad y valores atípicos	17
2.3.3 Modelización estadística.....	17
2.3.4 Inferencia estadística y significación.....	18
2.4 Limitaciones en la literatura existente y brecha de investigación.....	18
2.4.1 Predominio de entornos controlados	18
2.4.2 Análisis centrado en medidas agregadas	18
2.5 Modelos estadísticos para el análisis de tiempos de respuesta	19
2.5.1 Distribuciones asimétricas y modelo ex-Gaussiano	19
2.5.2 Modelos de difusión	20
2.5.3 Regresión y análisis multivariante.....	20
2.5.4 Enfoques probabilísticos y clasificación	20
2.5.5 Selección del modelo adecuado.....	21
2.6 Fundamentos matemáticos de los modelos	21
2.6.1 Modelo ex-Gaussiano	21
2.6.2 Modelo de difusión	22
2.6.3 Modelos de regresión y efectos mixtos	22
2.7 Comparación crítica entre enfoques.....	22
2.7.1 Modelos basados en la distribución normal.....	23
2.7.2 Modelo ex-Gaussiano	23
2.7.3 Modelo de difusión	23
2.7.4 Modelo de regresión y efectos mixtos	23
2.7.5 Criterios para la selección del modelo.....	23

2.8 Síntesis del estado del arte y justificación del enfoque adaptado	24
2.9 Implicaciones para el análisis de tiempos de respuesta en el entorno naval	25
3 Desarrollo del TFG	27
3.1 Diseño experimental	27
3.1.1 Características del diseño	28
3.1.2 Estructura del experimento	28
3.2 Participantes	29
3.2.1 Criterios de inclusión y exclusión	30
3.2.2 Consideraciones éticas y confidencialidad	30
3.3 Variables del estudio	30
3.3.1 Variable dependiente	30
3.3.2 Variables independientes	30
3.3.3 Estructura de los datos	31
3.4 Instrumentos y procedimiento	31
3.4.1 Descripción de la prueba	31
3.4.2 Secuencia de medición	32
3.4.3 Registro de variables complementarias	33
3.4.4 Condiciones del entorno	34
3.5 Tratamiento estadístico de los datos	34
3.5.1 Reprocesamiento de datos	34
3.5.2 Análisis descriptivo	35
3.5.3 Estructuración de la base de datos para el análisis	36
3.5.4 Clasificación de tiempos según el número de fallos	37
3.5.5 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos temporales	38
3.5.6 Preparación de los análisis comparativos correlacionales	38
3.5.7 Comparación antes-después de la navegación	39
3.5.8 Relación con variables subjetivas	39
3.5.9 Análisis por curso y evolución temporal	39
3.5.10 Pruebas de hipótesis	39
3.5.11 Modelos empleados	40
3.5.12 Software utilizado	40
3.5.13 Limitaciones del análisis estadístico	41
4 Resultados / Validación / Prueba	43
4.1 Caracterización general de los tiempos de respuesta	43
4.2 Comparación antes y después navegación	47
4.3 Distribución de tiempos por intervalos	52

4.4 Tiempos según número de fallos	55
4.5 Influencia de las variables fisiológicas	60
4.5.1 Correlación entre las variables fisiológicas y el rendimiento	60
4.6 Comparación entre brigadas.....	64
Con el objetivo de estudiar posibles diferencias en el rendimiento cognitivo de los alumnos entre los distintos grupos que participaron en el experimento, se realizó una comparación entre brigadas de los resultados obtenidos.	
4.7 Evolución temporal por semanas	67
4.7.1 Evolución de Δt a lo largo del experimento.....	67
4.7.2 Interpretación de Δt como indicador de la adaptación.....	68
4.7.3 Variabilidad intersemanal	68
4.7.4 Conclusión del del análisis temporal	69
4.8 Síntesis de los resultados.....	69
5 Conclusiones y líneas futuras	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Líneas futuras	72
6 Bibliografía.....	74
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	76
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	77
Anexo III: Contenido del tercer anexo	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Salida a la mar de los alumnos	28
Figura 3-2 Salida nocturna	29
Figura 3-3 Pregunta de prueba realizada a los alumnos en la semana 7	32
Figura 3-4 Pregunta de la prueba realizada a los alumnos en la semana 8	32
Figura 3-5 Sala de ordenadores donde se llevaron a cabo las pruebas.....	33
Figura 3-6 Reloj general empleado para realizar las mediciones de los tiempos de respuesta	33
Figura 3-7 Registro con 260 mediciones de la semana 3	41
Figura 3-8 Reestructuración y cálculo de datos con Microsoft Excel.....	41
Figura 4-1 Medias de los tiempos de respuesta registrados durante las pruebas realizadas por los alumnos por semanas	44
Figura 4-2 Distribución de tiempos de respuesta por semanas	46
Figura 4-3 Figuras de la variación individual del tiempo de respuesta antes y después de la navegación (Δt)	48
Figura 4-4 Medias de tiempos de respuesta antes y después de la navegación.....	51
Figura 4-5 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 2 antes de la navegación	52
Figura 4-6 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 2 después de la navegación	53
Figura 4-7 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 5 antes de la navegación.....	54
Figura 4-8 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 5 después de la navegación	54
Figura 4-9 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 8 antes de la navegación	55
Figura 4-10 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 8 después de la navegación	55
Figura 4-11 Tiempos de respuesta según el número de fallos por semanas.....	58
Figura 4-12 Variación de Δt a lo largo de las semanas.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (alumno, brigada, horas de medición y duración)	37
Tabla 3-2 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (estado fisiológico alumnos)	37
Tabla 3-3 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (preguntas y respuestas)	37
Tabla 3-4 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (número de fallos)	37
Tabla 4-1 Resumen de estadísticos descriptivos de los tiempos de respuesta de las semanas 0 a la 4	47
Tabla 4-2 Resumen de estadísticos descriptivos de los tiempos de respuesta de las semanas 5 a la 8B	47
Tabla 4-3 Indicadores estadísticos de antes y después de la navegación de las semanas 0 a la 4....	50
Tabla 4-4 Indicadores estadísticos de antes y después de la navegación de las semanas 5 a la 8....	50
Tabla 4-5 $\Delta t\%$ durante el experimento.....	52
Tabla 4-6 Resumen estadístico de los tiempos de respuesta según número de fallos de las semanas 0 a la 4.....	58
Tabla 4-7 Resumen estadístico de los tiempos de respuesta según número de fallos de las semanas 5 a la 8B.....	58
Tabla 4-8 Coeficientes e correlación entre variables fisiológicas y rendimiento cognitivo.....	61
Tabla 4-9 Resumen de semanas con correlaciones destacadas entre tiempo de respuesta, número de fallos y condiciones meteorológicas respecto a la puntuación del sueño.....	62
Tabla 4-10 Medias y desviaciones por brigada y semana.....	65
Tabla 4-11 Medias y desviaciones por brigada y semana.....	65
Tabla 4-12 Valor medio y desviación típica de tiempos de respuesta y número de fallos por brigada antes y después de la navegación.....	65

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto de estudio y motivación

El estudio del rendimiento humano en el ámbito laboral o de alta exigencia, resulta un área de creciente interés en el mundo actual, en el que se incluye el entorno militar. Esto se debe a la ascendente complejidad en los trabajos actuales, e interacción entre las personas, y estas con dichos sistemas. Se empieza a valorar lo necesario que resulta entender cómo el factor humano influye en la seguridad de empleo, fiabilidad, y eficiencia. El análisis del comportamiento humano se ha convertido en un elemento fundamental para el diseño, evaluación, y mejora de los procesos y procedimientos en cantidad de ámbitos profesionales.

Existen situaciones en las que la toma de decisiones llega a tener consecuencias críticas, por lo que la rapidez y la precisión con las que se procesa la información resultan determinantes para asegurar un desempeño de las tareas conveniente. En entornos dinámicos donde las condiciones pueden cambiar rápidamente y de forma imprevisible, es muy importante la capacidad de percibir los estímulos relevantes, interpretarlos correctamente, y responder de manera eficaz y eficiente. Es por esto por lo que estos tipos de estudios en rendimiento cognitivo despiertan el interés de múltiples disciplinas.

El análisis del comportamiento humano requiere ser estudiado desde una perspectiva cuantitativa, por lo que es necesario el uso de variables objetivas y medibles que nos ayuden a describir el comportamiento de forma rigurosa. Este empleo de métricas cuantitativas posibilita la comparación entre individuos, escenarios y situaciones distintas, difiriendo de las aproximaciones únicamente cualitativas. Estas herramientas además nos permiten identificar patrones y tendencias. Este tipo de enfoque y análisis son los propios de la ingeniería, donde las tomas de decisiones y optimizaciones de sistemas se apoyan en bases objetivas.

Una de las variables más empleadas en estos estudios en los que se pretende caracterizar el rendimiento cognitivo es el tiempo de respuesta, ya que es una magnitud objetiva y directamente medible. Por tiempo de respuesta, se entiende el intervalo temporal que transcurre desde que se presenta un estímulo claramente definido, hasta que se emite la respetiva respuesta observable por parte del sujeto mayor número de errores. El análisis de los tiempos de respuesta nos permite examinar lo siguiente:

- Rapidez a la que el individuo reacciona ante un estímulo determinado
- Concentración
- Velocidad de procesamiento de la información

El estudio de tiempos de respuesta ha sido utilizado por diversas disciplinas: la psicología experimental, la ergonomía, la neurociencia, la ingeniería de factores humanos, la ingeniería aplicada a sistemas...

Desde el enfoque de la ingeniería, los tiempos de respuesta no se limitan a una obtención de medidas experimentales individuales, sino al análisis que se puede realizar a partir de los conjuntos de datos una vez han sido testados en condiciones reales o que más se aproximan a ellas. Desde este prisma se nos permite:

- Estudiar la variabilidad en el comportamiento humano
- Identificar patrones de respuesta bajo distintas condiciones
- Establecer modelos que describan dicho comportamiento observado

En muchos de los ámbitos donde se llevan a cabo estos estudios, los modelos se emplean con fines predictivos para contribuir a la anticipación de situaciones de riesgo o a la mejora de diseño de sistemas y procedimientos.

Son muchos los factores que afectan a los entornos operativos que denominamos “exigentes”, como lo son los asociados a la navegación o a otras de actividades de carácter militar. El rendimiento cognitivo se ve afectado por múltiples factores. Entre ellos destacan:

- Estrés prolongado
- Fatiga física
- Fatiga mental
- Privación del sueño
- Presión temporal
- Exposición a condiciones ambientales adversas

La acumulación o combinación de estos factores es capaz de provocar un deterioro progresivo en las capacidades cognitivas de la persona, responsable de una respuesta eficaz (y eficiente) dando lugar al aumento de la probabilidad de que se cometan errores y se reduzca la competencia operativa.

Concretamente en el ámbito de la navegación, algunas de estas exigencias se ven amplificadas por las características específicas del ámbito naval. Entre ellas destacan:

- Las largas duraciones de las guardias
- El constante movimiento del barco
- El requerimiento de mantener la atención de manera sostenida durante largos periodos de tiempo
- La directa influencia de las condiciones meteorológicas en un ambiente que las acentúa como es el mar

Estas particularidades son las que crean un contexto particular y complejo como es el entorno marino, en el cual, incluso pequeñas variaciones y contrariedades pueden suponer en cuanto al rendimiento cognitivo consecuencias de importancia, por lo que contar con herramientas que nos ayuden a evaluar objetivamente la capacidad de respuesta de las personas resulta útil y provechoso.

A pesar de la importancia ya demostrada, gran parte de los estudios que se han realizado hasta ahora, se han llevado a cabo en contextos cuidadosamente controlados o en situaciones muy concretas, lo que limita la extrapolación de los resultados a entornos reales y al ámbito naval en los que nos queremos centrar. En particular, la navegación presenta características propias que no se han llegado a abordar con un punto de vista cuantitativo. Esta falta de investigación en el entorno da lugar a una brecha de conocimiento relevante cuanto menos, especialmente a lo que respecta la evaluación objetiva del impacto del estrés y la fatiga sobre los tiempos de respuesta en la realidad.

En lo que abarca la literatura científica, se puede apreciar una evolución progresiva del estudio del rendimiento cognitivo que va desde enfoques descriptivos hacia aproximaciones cuantitativas cada vez más sofisticadas, debido a la disponibilidad de datos experimentales y desarrollo de herramientas estadísticas avanzadas. Este progreso en cuanto a los enfoques permite a los investigadores analizar fenómenos complejos con mayor precisión (como por ejemplo son la variedad interindividual, los efectos acumulativos de la fatiga, la influencia del contexto sobre la capacidad de respuesta...). De esta forma, los tiempos de respuesta han adquirido la cualidad de variable clave para el análisis del comportamiento humano en tareas que precisan atención sostenida y toma de decisiones continua.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el estudio del rendimiento humano se enmarca en dentro de los estudios de sistemas complejos donde intervienen elementos tanto técnicos como factores humanos. En este tipo de sistemas, el comportamiento del operador influye directamente en el funcionamiento global, además de la seguridad y la fiabilidad del propio conjunto. Incluir estas herramientas que permiten medir, analizar y comprender dicho comportamiento de los operadores es de gran importancia para el diseño y optimización de los procedimientos, entornos de trabajo y procesos formativos.

En el ámbito particular de la instrucción naval, el análisis del rendimiento cognitivo adquiere cierta relevancia adicional al tratarse de un entorno formativo donde se combinan exigencias físicas, técnicas y cognitivas. Las navegaciones someten a los alumnos a jornadas prolongadas de atención sostenida, toma de decisiones progresiva, y gestión de información en entornos donde las condiciones son cambiantes. Pero todo esto da lugar a un escenario especialmente ideal para el estudio de los tiempos de respuesta. El análisis de estos datos en condiciones reales no solo nos da resultados reales, sino que nos permite entender mejor el efecto de la instrucción sobre el rendimiento, además de aportar los criterios objetivos que lleguen a ser útiles para la evaluación y mejora de los procesos formativos.

Es este el contexto sobre el que se enmarca el presente Trabajo de Fin de Grado, su propósito es contribuir al análisis cuantitativo del rendimiento cognitivo en situaciones reales de la instrucción naval. A través del estudio y análisis estadístico de los tiempos de respuesta obtenidos antes y después de las actividades de navegación como es el Adiestramiento a Flote, se tiene la intención de evaluar la influencia de las variables endógenas y exógenas que tomen parte en el comportamiento de los alumnos que participen en el estudio. Con todo esto, se podrá abordar el problema desde una perspectiva científica, alineada con los principios de la ingeniería o orientada a la obtención de resultados con aplicación práctica.

1.2 Objetivos y metodología

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es el análisis estadístico de los tiempos de respuesta en el contexto real de instrucción naval, con la finalidad de evaluar la manera en que diferentes factores y variables influyen en el rendimiento cognitivo de los alumnos.

Para alcanzar dicho objetivo general, se desarrollan una serie de objetivos específicos:

1. Análisis del comportamiento de los tiempos de respuesta en distintos momentos del proceso de instrucción, en concreto situaciones anteriores y posteriores a la actividad de navegación
2. Estudio de la influencia de variables relacionadas con el estrés, la fatiga, y las condiciones del entorno sobre los propios tiempos de respuesta registrados
3. Identificación de posibles relaciones y patrones entre las variables a considerar mediante herramientas de análisis estadístico
4. Evaluación de idoneidad de distintos modelos para mostrar el comportamiento observado en los entornos dados

En cuanto al método que se va a emplear para desarrollar el estudio, el trabajo se basará en la recogida de datos experimentales de los alumnos que participen, a partir de las pruebas diseñadas para medir los tiempos de respuesta de los participantes. Estas pruebas se realizarán en distintos momentos temporales con la intención de percibir posibles variaciones relacionadas a los efectos de la actividad de navegación y a las condiciones en las que esta se desarrolla. El diseño experimental se ha diseñado de

manera que se permite obtener un conjunto de datos con suficiente capacidad representativa, garantizando aun así la variabilidad de distintos casos y la viabilidad el estudio durante un entorno real de instrucción.

Una vez se hayan obtenido los datos, se procederá a su tratamiento mediante herramientas de la estadística descriptiva, que ayudan a describir el comportamiento inicial de las variables a analizar. Más tarde, se utilizarán métodos la de inferencia estadística y de modelización con el propósito de evaluar diferencias significativas entre grupos o condiciones, además de identificar patrones o relaciones entre las variables. La metodología del experimento se ha diseñado teniendo en cuenta las limitaciones existentes en un entorno real de instrucción naval, que tiene en cuenta variables importantes de los individuos, pero no es capaz de controlarlas todas siempre. Esto es lo que da lugar a tener la necesidad de emplear técnicas estadísticas que permitan minimizar esa incertidumbre y la variabilidad de los datos, obteniendo resultados robustos y comparables.

1.3 Estructura del trabajo

Este Trabajo de Fin de Grado de ordena en cinco capítulos:

Capítulo 1: Introducción y objetivos

Justificación de la motivación del trabajo, y presentación de los objetivos y metodología a emplear, estableciendo marco inicial del TFG.

Capítulo 2: Estado del arte

Revisión de la literatura científica relacionada con tiempos de respuesta, rendimiento cognitivo, análisis estadísticos conceptos fundamentales para la comprensión del estudio.

Capítulo 3: Desarrollo del TFG

Descripción del desarrollo metodológico del trabajo que incluye: diseño experimental, procedimiento de la recogida de datos. Y técnicas estadísticas empleadas para el análisis.

Capítulo 4: Resultados

Soluciones obtenidas del análisis de los datos experimentales, discusión de las principales fuentes de incertidumbre, y limitaciones en el estudio.

Capítulo 5: Conclusiones y líneas futuras

Exposición de conclusiones principales del trabajo, y propuesta de posibles líneas futuras de investigación para dar la posibilidad a profundizar en el tema del rendimiento cognitivo en ámbitos de alta exigencia.

La estructura tiene un carácter progresivo y coherente al trabajo, lo que permite que se garantiza la clara interpretación de los resultados y conclusiones alcanzadas, basadas en los fundamentos teóricos y metodológicos.

1.1 Organización del trabajo

El presente Trabajo de Fin de Grado se motiva debido a un proyecto de investigación impulsado por parte del profesorado del Centro Universitario de la Defensa, con el objetivo de estudiar el rendimiento cognitivo de sus alumnos durante los periodos de instrucción naval. Dentro de este contexto, el propósito era llevar a cabo un estudio que pudiese analizar cómo la fatiga, privación del sueño, o estrés asociado a actividades de la navegación, llegan a influir en variables relacionadas con la atención la toma de decisiones, y la velocidad de respuesta en condiciones operativas. Los datos que han sido empleados en este trabajo provienen de pruebas experimentales realizadas en periodos de actividades formativas reales dentro del centro de formación militar. Esto permite estudiar el comportamiento de los tiempos de respuesta en un entorno operativo auténtico. El presente trabajo se centra concretamente en el

tratamiento estadístico de dichos datos experimentales, con el propósito de extraer conclusiones que contribuyan a una mejor comprensión del rendimiento cognitivo en este tipo de entornos.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Rendimiento cognitivo y tiempos de respuesta

El estudio del rendimiento cognitivo es una línea de investigación bastante consolidada en diversos estudios científicos. Este rendimiento, en términos generales, hace referencia a:

- Capacidad del individuo de procesamiento de la información
- Mantenimiento de la atención
- Toma de decisiones
- Ejecución de respuestas

En entornos de alta exigencia, estas capacidades son esenciales para que el funcionamiento sea seguro y eficiente cuando la intervención humana toma lugar.

Como ya se ha mencionado, el tiempo de respuesta es una de las variables más empleadas para evaluar el rendimiento cognitivo. Tal y como se ha definido en la introducción, el tiempo de respuesta es el tiempo transcurrido desde la presentación del estímulo claramente identificado, hasta que el sujeto responde de forma observable. Las ventajas de esta variable la hacen especial por ser

- ✓ Objetiva
- ✓ Cuantificable
- ✓ Sencilla de medir (mediante dispositivos electrónicos o sistemas informatizados)

Este análisis da pie a la posibilidad de obtener y analizar de forma directa los procesos cognitivos internos como la atención selectiva, la velocidad de procesamiento, la capacidad de inhibición de respuestas...

En tareas simples, estos tiempos de respuesta suelen presentar valores relativamente estables, prácticamente con mínima alteración. Sin embargo, cuando se trata de tareas complejas o bajo condiciones que alteran (y drenan) el rendimiento cognitivo, se llegan a observar incrementos significativos en lo que respecta la variabilidad.

En cuanto a los contextos militares y entornos de alta exigencia, diversos estudios han analizado la relación entre los tiempos de respuesta y el rendimiento cognitivo en contextos militares [1] Janicijevic (2022). Este estudia en concreto la relación entre el rendimiento durante pruebas que, de reacción específicas en personal militar, y las variables relativas a la condición física y habilidades visuales que influían en dichas pruebas. Los tiempos de respuesta eran indicador del estado funcional en el que se encontraba el individuo. Por otro lado, también se ha estudiado el impacto de operaciones militares sostenidas durante periodos de tiempo más largos, en el rendimiento cognitivo, donde se evidencia el

deterioro progresivo asociado a la fatiga y a la exposición prolongada a situaciones demandantes [2] Vrijlkotte (2016).

Concretando en el ámbito naval, existe un estudio [3] Castro-Palacio (2020) que se centra en los buques militares. Se elaboró una metodología para evaluar los tiempos de respuesta ante estímulos visuales. Este trabajo insiste en la importancia de disponer de herramientas cuantitativas que sean capaces de adaptarse a los entornos reales de las operaciones. No solo eso, sino que se recalca la necesidad de llevar los estudios del laboratorio al escenario real de actuación, ya que estos contextos aplicados presentan condiciones de trabajo que difieren significativamente en la práctica, bajo situaciones experimentales controladas (donde es posible que no se hayan tenido en cuenta todos los factores).

Desde el enfoque estadístico que se le pretende dar en este Trabajo de Fin de Grado, los tiempos de respuesta cuentan con ciertas características que se deben tener en cuenta para su análisis (como distribución asimétrica, la presencia de valores extremos, una alta variabilidad intraindividual, dependencia de valores fisiológicos y ambientales, relación entre velocidad y precisión, sensibilidad a cambios cognitivos...). Otras variables fisiológicas y mecánicas siguen distribuciones normales, pero los tiempos de respuesta no se ajustan a este patrón, sobre todo en lo que se refiere a tareas cognitivas complejas. Es bastante más común de lo que se podría esperar observar distribuciones asimétricas con colas hacia valores elevados, relacionadas con lapsos atencionales o episodios correspondidos a la correspondiente fatiga de las tareas y condiciones de trabajo. Por esta razón, el tratamiento estadístico adecuado de los datos recogidos es fundamental para evitar interpretaciones simplificadas o desviadas.

Otro estudio [4] Hernaniz-Guijarro (2019) creó un procedimiento de clasificación que se basaba en el análisis de tiempos de respuesta, con lo que demostraba la utilidad de los modelos estadísticos avanzados para anticipar y sobre todo identificar patrones de comportamiento, con lo que tenía la oportunidad de discriminar entre distintos perfiles de rendimiento. Este tipo de artículos demuestra que el estudio de los tiempos de respuesta no solo se limita a la obtención de valores medios, sino que además precisa de un análisis más profundo y dedicado a las áreas de distribución, variabilidad y relaciones entre las variables.

Además, en tareas cognitivas es frecuente observar un compromiso entre la rapidez de la respuesta y la precisión obtenida, fenómeno conocido como *speed-accuracy trade-off* [3].

Con todo esto, se concluye que el estado actual de conocimiento que se tiene de los tiempos de respuesta es una herramienta adecuada, válida y aceptada ampliamente para la evaluación del rendimiento cognitivo, especialmente cuando el estudio se encuentra dentro de un proyecto de análisis estadístico riguroso y adaptado a las características y variables del entorno a estudiar.

2.2 Factores que influyen en los tiempos de respuesta

Son varios los factores que afectan a la variabilidad que se da en las medidas de los tiempos de respuesta. Estas no dependen exclusivamente de la complejidad de la propia tarea, ni de las características del tipo de estímulo que se presenta. Algunas variables como pueden ser fisiológicas, psicológicas, o contextuales influyen de forma significativa en la velocidad y estabilidad en la que se emiten las respuestas por parte de los individuos. En entornos de alta exigencia (como son las navegaciones u otras operaciones militares), estos factores están relacionados entre sí, y además son de naturaleza acumulativa en cuanto al rendimiento cognitivo, lo que los hace de especial relevancia.

2.2.1 Estrés

El estrés es de los factores más estudiados en este tipo de estudios relacionados con el rendimiento cognitivo.

Hay situaciones donde la presencia de esta variable tiene un impacto positivo, ya que da lugar a una activación moderada en el individuo. Se observa una mejora transitoria en el rendimiento ya que se

aumenta el estado de alerta. Sin embargo, cuando el nivel de estrés se eleva hasta superar un límite o se mantiene elevado de manera prolongada, existe una tendencia a que su impacto resulte más bien negativo, al producirse un deterioro progresivo en las funciones cognitivas de:

- Atención sostenida
- Memoria de trabajo
- Velocidad de procesamiento de la información

De los estudios ya mencionados que realizaron en el ámbito militar, se analizaron el impacto que tenían el tipo de operaciones que se realizaban de forma sostenida en el tiempo. Estos trabajos dieron evidencias de cómo las tareas que requirieron más rapidez y precisión durante periodos de tiempo prolongados provocaban significativamente una disminución en el rendimiento cognitivo. Las conclusiones que se extraían de estos estudios sugerían que el estrés crónico:

- Incrementaba la variabilidad en los tiempos de respuesta
- Desplazaba la distribución hacia valores más elevados

Viéndolo desde un punto de vista fisiológico, el estrés guarda principalmente relación con:

- Alteraciones en la regulación hormonal
- Nivel de activación del sistema nervioso autónomo

Lo que significa que estos dos factores tienen una relación directa con la capacidad de tener un rendimiento cognitivo estable en el individuo. Por ende, el análisis de tiempos de respuesta es claramente un indicador indirecto del impacto que tiene el estrés en los contextos reales.

2.2.2 Fatiga y privación del sueño

La fatiga puede ser tanto física como mental, y constituye otro factor muy relevante en cuanto al estudio de los tiempos de respuesta. Los efectos del estrés agudo varían en función de la intensidad y duración, sin embargo, las consecuencias de la fatiga se muestran más bien como un deterioro progresivo y acumulativo en el rendimiento.

Varios trabajos han sido capaces de demostrar que la privación del sueño y la acumulación de tiempo de actividad tienen como consecuencias [6] Lim (2010)

- Reducción de velocidad de procesamiento
- Aumento de aparición de lapsus atencionales

En lo que respecta a la estadística, estos factores suelen querer significar en cuanto a los tiempos de respuesta:

- Incremento en la media de la duración de estos tiempos
- Mayor dispersión de los datos, e incluso una aparición de valores extremos asociados a fallos de atención

En entornos operativos, las jornadas largas son frecuentes, y la fatiga puede llegar a ser un valor crítico. Si a la combinación de exigencia física y responsabilidad operativa se le añade la falta de descanso adecuado, se generan condiciones que degradan notoriamente el rendimiento cognitivo. En este tipo de contextos, la medida e intervención sistemática de tiempos de respuesta del personal puede detectar variaciones que podrían no resultar igual de evidentes mediante observación directa.

2.2.3 Entorno operativo y carga cognitiva

El entorno donde se lleva a cabo la actividad tiene un papel fundamental en el análisis de los factores que influyen en los tiempos de respuesta. En concreto, la navegación es una actividad que implica una gestión simultánea de diversos focos de atención. Esto puede variar según el puesto que se ocupe en el barco, pero por ejemplo es necesario mantener una vigilancia constante a la situación

cambiante en la mar. El conjunto de las distintas demandas hace que incremente la carga cognitiva del individuo.

Si la carga cognitiva aumenta, el sistema atencional del individuo distribuye sus recursos entre las diferentes tareas dadas. Si se da el caso de que la demanda atencional supera la capacidad disponible, es probable que se produzcan:

- Retrasos en la respuesta
- Errores durante la ejecución

Este tipo de fenómeno se observa más frecuentemente en la variabilidad y en la media de los tiempos de respuesta.

Factores ambientales en el mar como es el ruido, las vibraciones intensas, o el movimiento constante del barco, pueden influir indirectamente en el rendimiento cognitivo, ya que incrementan el nivel general de activación, o dan lugar a distracciones. En general, en contextos marítimos, estos elementos son habituales en el entorno de trabajo, con lo que se refuerza la necesidad de tener dichos factores en cuenta para el análisis de los datos experimentales.

2.2.4 Variabilidad interindividual

No todas las personas responden de la misma manera ante condiciones parecidas. Este factor es un tipo de característica peculiar y exclusiva respecto a las otras relacionadas con el rendimiento humano. En los tiempos de respuesta influyen variantes como son:

- Experiencia previa
- Nivel de entrenamiento
- Condición física
- Diferencias individuales en distintas habilidades

En una de las referencias [1], Janicijevic encontró asociaciones entre variables relacionadas con la condición física y/o habilidades visuales, ligadas con el rendimiento en pruebas de reacción específicas en el personal militar. Esto nos sugiere que los tiempos de respuesta deben ser interpretados teniendo en cuenta las características del sujeto, y no aislando totalmente esta variable.

2.3 Tratamiento estadístico de los tiempos de respuesta

El estudio de los tiempos de respuesta permite analizar distintos procesos cognitivos relacionados con la percepción, la toma de decisiones y la ejecución de respuestas, constituyendo una herramienta clásica en el estudio de los procesos mentales básicos [7] Luce (1986). El análisis estadístico de los tiempos de respuesta recogidos de forma experimental es el elemento central del estudio del rendimiento cognitivo. Los tiempos de respuesta, a diferencia de otras variables físicas o técnicas, cuentan con características específicas provenientes de su propia naturaleza de carácter cognitiva y de variabilidad inherente a la personalidad del individuo. Por esto, el tratamiento de estos datos requiere el empleo de herramientas estadísticas adecuadas a lo que se esté analizando para poder definir correctamente su distribución y extraer conclusiones bien basadas y argumentadas.

2.3.1 Características estadísticas de los tiempos de respuesta

En gran cantidad de estudios experimentales se ha podido ver que los tiempos de respuesta no siguen una distribución normal. Tienen más bien una tendencia a seguir una distribución simétrica cuando se trata de tareas simples y en condiciones controladas; bien en tareas más complejas o bajo condiciones de mayor fatiga y carga cognitiva alta, se observan distribuciones asimétricas con cola hacia la derecha. Esta asimetría es fruto de la presencia de respuestas especialmente lentas una vez se empiezan a apreciar lapsos atencionales y fluctuaciones temporales en el rendimiento cognitivo.

El hecho de que se presente esta asimetría y se observen considerablemente valores extremos, nos empuja a considerar más medidas más allá de la tendencia central (como suele ser la media), como pueden ser por ejemplo los indicadores de dispersión y forma de la distribución (como la desviación típica, el rango, intercuartílico, los coeficientes de asimetría y curtosis...) El análisis descriptivo es nuestro primer paso en el tratamiento de este tipo de datos, permitiéndonos así detectar:

- Patrones generales
- Posibles anomalías

2.3.2 Variabilidad y valores atípicos

La variabilidad es una característica muy típica en los tiempos de respuesta. Esta puede tener su origen en cuestiones individuales (hablando de las diferencias entre sujetos), o intraindividuales (variaciones en el mismo sujeto a lo largo de un periodo de tiempo). Hablando desde un enfoque estadístico, es bastante importante tener en cuenta estos dos tipos de variabilidad que nos podemos encontrar.

A su vez, los tiempos de respuesta suelen presentar valores atípicos que se asocian a:

- Errores
- Distracciones
- Fallos puntuales de atención

El tratamiento de estas anomalías se trata de una decisión metodológica importante, ya que le respectiva inclusión o exclusión es capaz de modificar significativamente los parámetros descriptivos. En el contexto real, se han llegado a proponer distintos criterios para la identificación y tratamiento de estos extremos, que son principalmente:

- Eliminación de tiempos inferiores a un umbral mínimamente fisiológico coherente
- Eliminación de tiempos superiores a un determinado número de desviaciones típicas

Y, además, a los errores encontrados cuyo error era evidente y fácilmente corregible, se les ha aplicado tales medidas respetando siempre la veracidad de las medidas experimentales.

Es necesario explicar que los tiempos de duración exageradamente corta, se excluyeron debido a que se relacionaban con respuestas aleatorias durante las pruebas, siendo testigo de ello el alto número de fallos que se cometían.

El correcto manejo de la variabilidad y los factores atípicos resulta esencial para no caer en conclusiones erróneas, además de garantizar consistencia en los análisis.

2.3.3 Modelización estadística

La estadística en este Trabajo de Fin de Grado va más allá del análisis descriptivo. El estudio de los tiempos de respuesta puede llevarse a cabo mediante varios tipos de modelos estadísticos que nos ayudan a describir comportamientos de manera más concisa. Por lo general, son más comunes los modelos que se basan en distribuciones asimétricas, destacan el uso de la regresión y estilos/tipos de clasificación orientadas a permitir identificar relaciones y patrones entre variables.

Hernaiz-Guijarro [8] en su estudio de análisis de tiempos de respuesta lleva a cabo un procedimiento de clasificación en función de la probabilidad, con el que es capaz de demostrar la utilidad de tener distintos tipos de modelos estadísticos para diferenciar tipos de perfiles de rendimiento. Con este tipo de aproximaciones nos damos cuenta de que el análisis de tiempos de respuesta es capaz de ir más allá de simplemente comprar medias, y es posible añadir métodos capaces de capturar patrones complejos de conjuntos de datos.

En otros estudios realizados en ambientes militares [1] y [2], el tratamiento estadístico del conjunto de datos experimentales combinó varias herramientas de análisis descriptivo con pruebas de hipótesis e identificación de correlaciones entre variables de tipo fisiológicas, ambientales, y de

rendimiento. Esta forma de trabajar dio lugar a la posibilidad de evaluar la significación estadística de las diferencias observadas, y encontrar relaciones entre el rendimiento cognitivo y otros factores relevantes.

2.3.4 Inferencia estadística y significación

La inferencia estadística y la significación desempeñan un papel fundamental cuando el objetivo del estudio es extraer conclusiones a partir de una muestra de sujetos. Con el uso de pruebas de hipótesis adecuadas, es posible determinar si las diferencias observadas entre diferentes condiciones se deben a efectos sistemáticos si son fruto de mera variabilidad aleatoria (como por ejemplo podría ser la comparación de medidas tomadas antes y después de la navegación).

Con todo esto, tenemos bastantes motivos para no considerar el tratamiento de los tiempos de respuesta como un mero procedimiento técnico, sino un componente esencial para el estudio de los tiempos de respuesta, que además asegura validez y fiabilidad de los resultados. La elección correcta de las herramientas estadísticas a usar es por lo tanto determinante para que la interpretación de los resultados obtenidos de los datos experimentales sea la correcta, y así garantizar la coherencia entre los objetivos planteados y las conclusiones obtenidas.

2.4 Limitaciones en la literatura existente y brecha de investigación

El análisis de la literatura ya existente demuestra que los estudios de tiempos de respuesta y rendimiento cognitivo ya han sido ampliamente abordados en entornos experimentales controlados. Sin embargo, a la hora de examinar trabajos aplicados en entornos reales de operación, se aprecian limitaciones diversas que invitan a realizar investigaciones adicionales.

2.4.1 Predominio de entornos controlados

Gran parte de los estudios ya realizados se han llevado a cabo en laboratorios y entornos con condiciones excesivamente controladas. En entornos con estas características se minimizan las variables externas con el objetivo de aislar los efectos concretos que se están estudiando. Esta manera de trabajar tiene la ventaja de que se permite analizar el efecto en concreto de forma precisa (desde un punto de vista experimental), sin embargo, se reduce la capacidad de generalización en situaciones reales, donde son múltiples las variables que actúan de forma simultánea.

En contextos operativos como es la navegación, es muy complicado simplificar el entorno hasta ese nivel. Conviven factores ambientales, organizativos, fisiológicos que interactúan entre sí, dando pie a escenarios altamente complejos que son imposibles de reproducir en un laboratorio. Estas diferencias entre entornos demasiado controlados y entornos reales constituyen una de las principales brechas identificadas en la literatura ya existente.

2.4.2 Análisis centrado en medidas agregadas

Otra limitación frecuente que se da es el uso predominante de medidas agregadas, como por ejemplo es la media de los tiempos de respuesta, sin haber hecho previamente un análisis profundo de la forma concreta en la que se da la distribución en el estudio. Realmente la media resulta un indicador muy útil, pero es insuficiente si solamente está destinado a describir fenómenos donde predominan la alta variabilidad y la existencia de valores extremos.

Cuando se trata de tareas cognitivas exigentes, los tiempos de respuestas tienden a presentar asimetrías y colas prolongadas que se asocian a lapsos atencionales además de episodios de fatiga. El hecho de que el análisis se focalice exclusivamente en las medidas centrales tiene como consecuencia que patrones relevantes se escondan, cuando solo pueden ser identificados cuando se examina la distribución completa de todos los datos.

2.4.3 Escasez de estudios específicos en el entorno naval

Aunque es cierto que sí que existen investigaciones realizadas en contextos militares generales, es relativamente reducido el número de estudios que se han llevado a cabo específicamente en entornos navales. Las causas de esta ausencia de estos ensayos hacen que se configure un escenario muy particular en el que el rendimiento cognitivo es influenciado de distintas formas. Estas suelen ser:

- Duraciones prolongadas de la actividad
- Movimiento continuo
- Condiciones meteorológicas variables
- Exigencia técnica

Esta falta de investigaciones sistemática hace muy difícil la comparación de resultados entre los distintos entornos, y limita el desarrollo de modelos específicos que se adapten a estas condiciones particulares de la navegación. La carencia de este tipo de estudios justifica la necesidad de realizar nuevas investigaciones que ayuden a ampliar el conocimiento que se tiene hasta ahora y contrastar hipótesis en escenarios reales.

2.4.4 Necesidad de integración entre análisis cognitivo y modelización estadística

Finalmente, se aprecia que en variedad de trabajos el análisis cognitivo se presenta independiente al tratamiento estadístico. Mientras que, en los estudios aplicados es fundamental integrar ambos enfoques y que vayan de la mano, de tal manera que la selección de las herramientas estadísticas sea acorde a las características específicas del fenómeno que se está analizando.

Es necesario considerar simultáneamente el comportamiento estadístico y el significado cognitivo de los tiempos de respuesta para hacer una interpretación adecuada. La integración de ambas cosas constituye uno de los ejes centrales del presente trabajo, en el que se pretende aplicar técnicas estadísticas rigurosas a los datos obtenidos en condiciones reales de la instrucción naval que se lleva a cabo en el centro de formación.

2.5 Modelos estadísticos para el análisis de tiempos de respuesta

Diversos modelos estadísticos han sido desarrollados para orientarse a describir de forma más precisa el comportamiento de los tiempos de respuesta por tipos de análisis más avanzados. Estos modelos son necesarios debido a las características particulares que presentan todos los tipos de datos asociados al rendimiento cognitivo.

2.5.1 Distribuciones asimétricas y modelo ex-Gaussiano

Como hemos estado mencionando previamente, los tiempos de respuesta no se suelen ajustar a una distribución normal estricta. En muchas tareas cognitivas, la distribución que se puede observar cuenta más bien con:

- Asimetría positiva
- Cola hacia valores elevados

Estas características han sido las que han motivado al empleo de modelo que combina componentes gaussianas y exponenciales.

La distribución ex-Gaussiana [8] Heathcote (2002) ha sido uno de los modelos más utilizados en la literatura hasta ahora. Este tipo de distribución se obtiene como la convolución de una distribución normal y una distribución exponencial. Este tipo de modelos nos ayuda a descomponer los tiempos de respuesta en tres parámetros:

- 1) Asociación a la media de la componente normal
- 2) Desviación típica
- 3) Relación con la cola exponencial

Esta descomposición hace más fácil la interpretación de los datos, ya que es más fácil diferenciar entre:

Variabilidad general de rendimiento $\Leftrightarrow$ episodios de respuestas especialmente lentas

El empleo del modelo ex-Gaussiano ha demostrado ser útil en estudios cuyo objetivo es el análisis del impacto que tiene la fatiga o carga cognitiva en los individuos, debido a que estos dos factores suelen reflejar una acentuación en la cola derecha de la distribución, más que en un simple desplazamiento uniforme de la media.

2.5.2 Modelos de difusión

Otra forma que ha habido de aproximarse en gran parte de la literatura ya existente es el modelo de difusión (Diffusion Model) [9] Ratcliff (1978). Este se propuso en un primer momento para describir procesos de decisión entre dos respuestas, en tareas de tipo cognitivas. El modelo de difusión entiende el tiempo de respuesta como el resultado de un proceso referente a la acumulación de evidencias que acaba alcanzando un punto de decisión.

Este modelo de difusión, desde un punto de vista matemático, ayuda a estimar parámetros que se asocian a:

- Velocidad de acumulación de la información
- Umbral de decisión
- Tiempo no decisional (refiriéndose a componentes preceptivas y motoras)

Dicha estructura aporta una interpretación más completa de lo que es el proceso y cómo se ha llegado a tales resultados. Se consigue diferenciar entre las fases de procesamiento cognitivo y ejecución motora.

2.5.3 Regresión y análisis multivariante

En estudios aplicados, sobre todo cuando se trata de analizar datos obtenidos en entornos reales, se aprecia que frecuentemente se usan los modelos de regresión para explorar la relación entre los tiempos de respuesta y variables explicativas. Estas variables, por lo general, suelen incluir factores:

- Fisiológicos
- Ambientales
- Contextuales

Como por ejemplo podrían ser: la fatiga, la duración de una jornada, condiciones meteorológicas...

Cuantificar la influencia de cada variable sobre el tiempo de respuesta es posible gracias a los modelos de regresión, además de controlar el efecto del resto de variables. Cuando se quedan contextos con múltiples factores que se encuentran relacionados entre sí, el tipo de análisis multivariante aporta una herramienta muy útil para:

- identificar efectos significativos
- evaluar la contribución relativa por componente

Además, cuando se dan repeticiones de datos producidas por el mismo sujeto, es posible el empleo de modelos de efectos mixtos que son capaces de separar la variabilidad interindividual de la intraindividual, dando lugar a estimaciones más certeras.

2.5.4 Enfoques probabilísticos y clasificación

En variedad de casos, el objetivo único y último no es únicamente describir cómo son los tiempos de respuesta, sino clasificar los diversos tipos de rendimientos de los sujetos o detectar patrones concretos. En el presente contexto, los enfoques probabilísticos y los métodos de clasificación adquieren especial importancia.

Hernaiz-Guijarro [4], ideó un procedimiento de clasificación en función de la probabilidad que se basaba en el análisis de los tiempos de respuesta, donde demostraba que estos métodos eran bastante útiles para discriminar perfiles de comportamiento. Este tipo de aproximaciones resultaban interesantes cuanto menos cuando el objetivo era identificar estados de deterioro cognitivo del rendimiento o establecer umbrales operativos.

El hecho de que se integren modelos probabilísticos con técnicas de análisis descriptivo da la posibilidad de abordar el estudio de los tiempos de respuesta desde una perspectiva más entera y completa, combinando ambas: interpretación estadística y aplicación práctica.

2.5.5 Selección del modelo adecuado

La elección del modelo estadístico más adecuado para el estudio de tiempos de respuesta que se va a llevar a cabo depende de varios factores, entre ellos son:

- Naturaleza de la tarea
- Volumen de datos disponible
- Objetivo del análisis

Los estudios que se han realizado en entornos reales (como es el presente), tienen el deber de equilibrar la complejidad del modelo con la interpretación de los datos trabajados.

Un modelo excesivamente sofisticado podría ofrecer un ajuste preciso, sin embargo, podría dificultar la interpretación práctica. Por el contrario, un modelo demasiado simple puede no llegar a capturar adecuadamente las características más relevantes de los datos empleados. Por ello, es muy importante hacer una selección de herramientas adecuada, escogiendo las más coherentes acorde con los objetivos del estudio y con las características propias de la muestra analizada.

2.6 Fundamentos matemáticos de los modelos

El análisis formal de los tiempos de respuesta tiene por necesidad tener en cuenta la naturaleza del propio proceso que le lleva a obtener los resultados. Desde un punto de vista matemático, los tiempos de respuesta pueden interpretarse como una variable aleatoria continua en un intervalo positivo, con una distribución que depende de una variedad de factores fisiológicos, cognitivos y contextuales respectivamente.

2.6.1 Modelo ex-Gaussiano

El modelo ex-Gaussiano es uno de los modelos más empleados para describir distribuciones asimétricas de tiempos de respuesta. Matemáticamente hablando, este tipo de distribución se obtiene mediante la combinación de dos funciones matemáticas:

- Distribución normal: $N(\mu, \sigma^2)$
- Distribución exponencial: τ

De tal forma que

$$X = N(\mu, \sigma^2)$$

$$Y = Exp(\tau)$$

Siendo:

- μ : media (rendimiento central)
- σ : dispersión (asociada a variabilidad general)
- τ : componente exponencial asociada a respuestas excesivamente lentas

Viniendo la media total dada por:

$$E = \mu + \tau$$

Y la varianza por:

$$Var = \sigma^2 + \tau^2$$

Este modelo se emplea especialmente cuando se quiere diferenciar entre la variabilidad general del rendimiento y episodios de ralentización asociados a fatiga o lapsos de atención.

2.6.2 Modelo de difusión

El modelo de difusión describe el tiempo de respuesta como el resultado de un proceso de acumulación que finaliza con la reacción que emite el individuo, una vez alcanza el umbral de decisión. Formalmente se formula empleando un proceso de Wiener con:

- v : velocidad de acumulación de evidencia
- a : límite (superior e inferior)

Este tiempo de respuesta se expresa como:

$$T = t_0 + T_d$$

Siendo :

- T_d : tiempo necesario para que el proceso de acumulación alcance el umbral
- t_0 : tiempo no decisional

Este modelo ayuda a interpretar los tiempos de respuesta entendiéndolos como procesos cognitivos internos del individuo, y diferenciando entre el término de velocidad de procesamiento y criterio de decisión.

2.6.3 Modelos de regresión y efectos mixtos

En los tipos de entorno donde se emplean datos repetidos del sujeto, el tiempo de respuesta se formula empleando regresión lineal o modelos lineales generalizados. Esto se da cuando existen observaciones múltiples del individuo y se buscan profundizar en las variaciones intrapersonales. Cuando se dan observaciones múltiples en el sujeto, los modelos mixtos introducen componentes aleatorios que captan la variabilidad en la persona:

$$T_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + u_i + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

- T_{ij} : tiempo de respuesta del sujeto i en la observación j
- X_{ij} : variables explicativas
- u_i : efecto aleatorio que se asocia al individuo
- ε_{ij} : término de error residual

Este tipo de modelos son idóneos cuando la intención es separar la variabilidad que podría estar asociada las condiciones experimentales, de la que causa el propio individuo.

2.7 Comparación crítica entre enfoques

El hecho de que existan múltiples modelos para analizar tiempos de respuesta hace que sea necesario evaluar las ventajas, desventajas, limitaciones y ámbitos de aplicación para cada uno de ellos. Escoger el modelo adecuado no depende únicamente de la idoneidad matemática, sino de su coherencia respecto a los objetivos del estudio, el tipo de tarea a analizar y la cantidad de datos que han sido recogidos durante el experimento.

2.7.1 Modelos basados en la distribución normal

El enfoque más sencillo que se le puede dar a los tiempos de respuesta es asumir que siguen aproximadamente una distribución normal, y analizar los datos mediante medidas de tendencia central y dispersión, complementadas con pruebas de hipótesis paramétricas. Las ventajas de este modelo son la simplicidad y la facilidad de interpretación, siendo ideal cuando se trata de distribuciones regularmente simétricas y que carecen de colas pronunciadas.

Sin embargo, cuando se trata de tareas cognitivas exigentes o condiciones de fatiga, la normalidad suele ser más bien poco común. Son más comunes las asimetrías positivas y los valores extremos, que comprometen la media y perjudican la capacidad explicativa del modelo. Para estos casos, si el análisis

2.7.2 Modelo ex-Gaussiano

Este tipo de modelo es una alternativa intermedia entre la simplicidad e interpretabilidad. Se descompone la distribución en una componente normal y otra exponencial, permitiendo diferenciar entre el trecho del rendimiento central y los episodios de respuesta especialmente lenta. Esta dualidad lo hace muy útil cuando se trata de estudiar los efectos de la fatiga o el deterioro progresivo del rendimiento.

No obstante, este modelo sigue siendo principalmente descriptivo. Ciertamente es que aporta parámetros con interpretación funcional, pero no es tan útil para analizar el proceso cognitivo subyacente, únicamente la distribución observada. Además, su ajuste precisa de procedimientos de estimación específicos que son sensibles para el tamaño muestral.

2.7.3 Modelo de difusión

El modelo de difusión ofrece la posibilidad de interpretar los tiempos de respuesta de una forma más profunda, ya que se basa en un proceso dinámico que acumula evidencia. Este tipo de aproximación da la posibilidad de estimar parámetros que están directamente relacionados con la velocidad de procesamiento de la información y el umbral de decisión, dando lugar a una visión más estructurada del análisis.

Sin embargo, presenta algunas limitaciones en su aplicación. Para su empleo, son requeridas algunas tareas diseñadas específicamente para las decisiones binarias o elecciones claras, además de la gestión del volumen de datos suficiente para estimar de manera contundente los parámetros del estudio. Cuando se presentan múltiples variables y condiciones cambiantes en este tipo de estudios, la complejidad de este modelo puede llegar a dificultar su aplicación y la interpretación de los resultados del trabajo llevado a cabo.

2.7.4 Modelo de regresión y efectos mixtos

Los modelos de regresión y efectos mixtos son especialmente adecuados en estudios con datos repetidos y variedad y cantidad de factores explicativos. Dan la posibilidad de cuantificar la influencia de cada variable, y separar la variabilidad intraindividual de la interindividual.

Su principal ventaja es la posibilidad que presenta de integrar múltiples factores de forma simultánea, además de su flexibilidad. Pero una desventaja que conlleva su empleo es que es necesario verificar las bases estadísticas y garantizar que el tamaño muestral es el adecuado.

2.7.5 Criterios para la selección del modelo

A partir de estas comparaciones, podemos extraer que ciertamente no existe un modelo ideal para el estudio de los tiempos de respuesta. Es necesario saber que los criterios que principalmente se debe tener en cuenta son:

- Tamaño y estructura de la muestra
- Objetivo principal (descripción, clasificación, explicación...)

- Naturaleza de la tarea experimental
- Interpretabilidad de los parámetros

Cuando se trata de entornos reales donde intervienen multitud de factores, la interpretabilidad es fundamental. Suele ser buena idea combinar varios tipos distintos de análisis descriptivos avanzados, con modelos de regresión y relaciones entre variables. Esta combinación permite equilibrar el rigor estadístico y la aplicabilidad práctica, facilitando la obtención de resultados y conclusiones que mejoren los procesos y la toma de decisiones.

2.8 Síntesis del estado del arte y justificación del enfoque adaptado

El análisis de la literatura científica investigada muestra como los tiempos de respuesta son una herramienta suficientemente apta para la evaluación del rendimiento cognitivo en tareas que requieren:

- un nivel de atención considerable
- procesamiento de la información
- toma de decisiones

tiene un carácter objetivo y cuantificable que convierte a los tiempos de respuesta en una variable adecuada para cantidad de estudios experimentales orientados a la medición del comportamiento humano en contextos exigentes.

Los trabajos ya existentes [1], [2], [3], [4], y [5] han abordado el estudio de los tiempos de respuesta desde diferentes perspectivas. Por una parte, se han llevado a cabo investigaciones centradas en la relación entre el rendimiento cognitivo y distintos factores como son el estrés, fatiga o privación del sueño (sobre todo los relativos a entornos militares u operativos). Estos estudios han mostrado como el deterioro cognitivo no siempre se manifiesta únicamente con el aumento uniforme de la media de los tiempos de respuesta, sino que también puede reflejarse un aumento e la variabilidad y la aparición de respuestas especialmente lentas asociadas a lapsos atencionales.

Por otra parte, la literatura investigada muestra la necesidad de aplicar modelos con las características adecuadas a los rasgos particulares de esta variable. El hecho de que se den las distribuciones asimétricas, valores atípicos, variedad intraindividual e interindividual... conlleva a utilizar herramientas más complejas que el análisis descriptivo básico para poder ir más allá del análisis que este aporta. Modelos como la distribución ex-Gaussiana, los modelos de difusión, o los enfoques de regresión multivariante, dan la posibilidad de capturar de una forma precisa el comportamiento observado en los individuos y explorar relaciones entre las diversas variables.

No obstante, se han encontrado ciertas limitaciones de relevancia en algunos de los estudios que ya existen:

- 1) En primer lugar, una parte considerable de las investigaciones que ya se han llevado a cabo, han sido en entornos excesivamente controlados, lo que complica la comparación realista a los entornos más auténticos.
- 2) En segundo lugar, el número de estudios que se han aplicado a los ámbitos navales y militares es más bien reducido, por desgracia, en comparación a otros contextos operativos. Esta carencia se traduce en una limitación de modelos adaptados a estas condiciones tan particulares de la navegación militar, donde conviven factores físicos, ambientales, cognitivos, y técnicos de forma simultánea.

Aparte, se es capaz de apreciar que, en algunos de los trabajos, el tratamiento estadístico de los datos no se entiende bien con el análisis cognitivo que se pretende realizar. Esta integración es esencial para garantizar que las herramientas empleadas son las adecuadas para proveer el tipo de resultados que se buscan del estudio, y que además concuerdan con el tipo de datos que se tienen.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado se encuentra en una situación en la que por un lado se pretende realizar un análisis aplicado del rendimiento cognitivo de los alumnos en un entorno

real de instrucción naval, y el empleo de técnicas estadísticas rigurosas para el tratamiento de estos datos experimentales. Para ello es necesario:

- Analizar los tiempos de respuesta considerando su variabilidad y forma de distribución además de las medidas de tendencia central.
- Comprobar la influencia de los factores que se dan en el entorno característico de la navegación en el rendimiento cognitivo.
- Seleccionar las herramientas estadísticas oportunas con las características necesarias que sean capaces de tratar el tipo de datos con el volumen de la muestra dado.

De esta manera, el enfoque a adoptar en este estudio no ha sido escogido de forma aleatoria, sino que es el resultado de un análisis trabajado de la literatura ya existente, y de las limitaciones encontradas en otros estudios previos. La mezcla de un entorno real (del que además se tiene cierta experiencia), con un tratamiento estadístico, da lugar a la aportación principal del trabajo dentro de un marco académico y profesional en el que se desarrolla.

2.9 Implicaciones para el análisis de tiempos de respuesta en el entorno naval

La revisión dada nos permite tener en cuenta algunas implicaciones específicas para el tipo de estudio que se va a llevar a cabo de los tiempos de respuesta en el ámbito de la instrucción naval. Aunque la literatura científica ya haya abordado este tipo de análisis del rendimiento cognitivo en contextos militares y experimentales, el entorno marítimo no ha sido tan profundizado, y además presenta características particulares que se deben ser consideradas.

De primera mano, la navegación implica exigencias cognitivas y prolongadas, que se combinan con factores físicos y ambientales propios de la mar. Entre ellos se encuentran el continuo movimiento del barco por las olas, vibraciones, ruido, meteorología adversa, que son difícilmente replicables en un laboratorio. Estas condiciones llegan a influir tanto en la estabilidad emocional, como en la precisión y rapidez de los individuos durante las tareas a realizar en el barco. Por ende, el análisis de los tiempos de respuesta en este contexto requiere una aproximación que tenga en cuenta la interacción simultánea entre los factores nombrados.

En segundo lugar, la estructura de la instrucción naval implica la realización de actividades durante periodos de tiempo prolongados, en los que se alternan tareas de distinta índole y niveles de responsabilidad graduales. Esta diversidad puede generar fluctuaciones en la carga cognitiva que acumule el individuo a lo largo de la jornada de navegación, afectando de forma no uniforme al rendimiento. Desde el punto de vista estadístico, esto se traduce en la necesidad de analizar además de los valores del medio, también las tendencias temporales y variaciones intraindividuales.

La propiedad formativa del entorno añade la componente adicional que se relaciona con el aprendizaje y la adaptación progresiva a la tarea. Los alumnos van adquiriendo experiencia con el tiempo, lo que da lugar a que se vean mejoras de eficiencia en el procesamiento de la información y en la velocidad de elaboración de una respuesta. Esta evolución debe diferenciarse del deterioro que se asocia a la fatiga o al estrés, con lo que se refuerza la importancia de utilizar modelos capaces de separar efectos sistemáticos de la variabilidad aleatoria.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis de los tiempos de respuesta en el entorno naval requiere un balance entre el control experimental para nuestro análisis y la viabilidad operativa para los alumnos durante sus navegaciones. A diferencia de los experimentos llevados a cabo en laboratorios, donde las condiciones pueden establecerse de forma estricta, el contexto de la navegación tiene que adaptar el diseño del experimento a las limitaciones del entorno, con lo que es necesario asumir cierto margen de variabilidad adicional, que debe intentar ser subsanado empleando herramientas estadísticas adecuadas que la minimicen.

Por otro lado, el método estadístico que se vaya a emplear finalmente debe ser capaz de considerar la interpretabilidad práctica de los resultados. En entornos operativos y formativos como son

las lanchas de instrucción, las conclusiones a extraer pueden utilizarse también para recomendaciones de cara al futuro. Modelos que sean complejos de más ofrecerán un ajuste preciso, pero dificultará el tratamiento de los datos y la toma de decisiones. La selección del método debe ser capaz de permitir el equilibrio entre la precisión matemática y la utilidad práctica.

Finalmente, la identificación de patrones durante el estudio puede contribuir además del análisis académico del rendimiento cognitivo, a la mejora de los procesos formativos y operativos ya implantados en la escuela. Son varias las posibles aplicaciones del estudio de esta variable, como la detección temprana del deterioro del rendimiento, la evaluación de la eficiencia de algunas estructuras en las que se organiza el trabajo, o la adaptación de cargas cognitivas.

Como conclusión, el análisis de tiempos de respuesta en el ámbito de la instrucción naval no es un simple trabajo de estadística, sino un proyecto orientado a la mejora del desempeño humano en entornos de alta exigencia.

3 DESARROLLO DEL TFG

Este capítulo relata el desarrollo metodológico del estudio que se ha llevado a cabo. En él, se detalla el diseño experimental, las características de la muestra, las variables consideradas, y el procedimiento que se ha seguido en la recogida de datos. Además, se muestran las herramientas técnicas y estadísticas empleadas para tratar la información, sumando las decisiones adoptadas durante la depuración y estructuración de los datos. La finalidad es proporcionar una base contundente que permita entender la forma en la que se ha llevado a cabo el análisis y garantizar la validez de los resultados.

3.1 Diseño experimental

El presente capítulo describe el diseño experimental del proyecto de investigación impulsado por el Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar, en el que se recogieron datos empleados posteriormente en este Trabajo de Fin De Grado. Su objetivo es analizar el rendimiento cognitivo de los alumnos durante las actividades de instrucción naval.

En este contexto, el trabajo desarrollado es una primera aproximación al análisis de los datos que se han recogido en el proyecto mencionado, por lo que en este apartado se explica el contexto experimental en el que se generaron. Este estudio se centra en el tratamiento estadístico del conjunto de mediciones disponibles durante la realización del estudio.

Debido al estado actual del proyecto y las características del conjunto de datos recogidos, este trabajo se presenta como un análisis exploratorio, orientado a identificar patrones generales en los tiempos de respuesta y su posible relación con variables fisiológicas, temporales y contextuales.

El trabajo se basa en un estudio cuasiexperimental, al desarrollarse en un entorno operativo real donde no es posible controlar todas las variables del experimento, de naturaleza longitudinal (ya que se realiza en distintos momentos para observar una evolución), que se desarrolla en un entorno de instrucción naval durante un periodo de nueve semanas seguidas. El objetivo principal de este experimento era observar cómo evolucionaban los tiempos de respuesta de los alumnos de la Escuela Naval Militar respecto a sus navegaciones, evaluando a su vez cómo influían determinadas variables fisiológicas y subjetivas que se asocian al rendimiento.

El estudio se llevó a cabo durante el bloque de ‘Adiestramiento a Flote’, que forma parte de la instrucción naval de los alumnos del centro de formación. En él, se recogió una muestra de datos en la dinámica habitual de las navegaciones. Este hecho condiciona de alguna manera el diseño del experimento, ya que no están meticulosamente medidas las variables como si de un laboratorio se tratase, sino que las navegaciones de los alumnos se llevan a cabo en un escenario operativo real, como son las Lanchas de Instrucción, en las que intervienen variedad de factores simultáneamente.

En la siguiente figura (Figura 3-1) se muestra cómo son las Lanchas de Instrucción, donde los alumnos llevan a cabo sus navegaciones por las tardes, una vez a la semana usualmente, en las rías de Pontevedra, Vigo, y de Arousa. Estas salidas a la mar se realizan con la finalidad de completar su instrucción naval en el centro de formación.



Figura 3-1 Salida a la mar de los alumnos

3.1.1 Características del diseño

La recogida de datos se realizó durante nueve semanas. En cada semana, se realizaron test de forma diferenciada:

- antes de las salidas a la mar
- después de las salidas a la mar

En los que se registraba el tiempo en el que se realizaban, el estado fisiológico, y los fallos de cada alumno.

Este planteamiento permite evaluar las variaciones que se producen en los individuos al exponerse a unas jornadas de navegación de casi cuatro horas por la tarde. No obstante, debido a las circunstancias particulares de la Escuela Naval, sus horarios y sus compromisos, no en todos los casos fue posible evaluar ambas medidas (antes y después) por sujeto: en determinadas semanas solo se cuenta con datos anteriores o posteriores las navegaciones. Y en algunos casos, algunos alumnos repitieron las pruebas dos veces la misma semana, al encontrarse repitiendo curso.

En consecuencia, se ha pretendido que el conjunto de datos se organice en una estructura lo más pareada posible, y con las justas y necesarias observaciones repetidas de los alumnos que así las realizaron.

3.1.2 Estructura del experimento

El diseño se describe como parcialmente pareado con medidas repetidas, ya que:

- Algunos alumnos disponen de mediciones antes y después en la misma semana
- Otros solo presentan una única medición
- Hay sujetos con varias observaciones a lo largo del periodo de estudio

No se han llevado a cabo adiciones artificiales para completar datos incompletos. El análisis se ha realizado utilizando los datos disponibles en cada caso, y diferenciando comparaciones pareadas de las independientes.

Esta decisión metodológica se lleva a cabo para preservar la veracidad de las mediciones obtenidas en un entorno real, y evitando añadir supuestos datos ficticios que pudiesen tener como efecto la distorsión en la interpretación posterior de los resultados.

3.2 Participantes

El estudio se ha llevado a cabo con alumnos de la Escuela Naval Militar, pertenecientes a cuatro cursos (brigadas) distintos:

- Primera brigada
- Segunda brigada
- Cuarta brigada
- Quinta brigada

La tercera brigada es la única que no atiende Lanchas de instrucción, ya que embarca siete meses a bordo de Juan Sebastián Elcano donde cumple con su adiestramiento en la mar. De la quinta brigada únicamente nos referimos a sus alumnos con titulación previa en estas Lanchas de Instrucción. La participación estuvo vinculada a la actividad habitual de instrucción naval y navegaciones programadas dentro del bloque de Adiestramiento a Flote.

A lo largo de las nueve semanas, en ocasiones se recogieron casi 400 observaciones a lo largo de los tres días en los que se navega por semana, entendiendo el conjunto de mediciones totales realizadas antes y después de la navegación. El número total de las observaciones variaba en función de la disponibilidad de los alumnos, la planificación de las navegaciones, y las condiciones operativas que se pudiesen dar cada semana.

Dado que el diseño cuenta por un lado con alumnos que aportaron ambas observaciones (antes y después de la navegación), y por otro lado con alumnos que solo fueron capaces de realizar una medida, (como, por ejemplo, aquellos que realizaron salidas nocturnas, como se puede observar en la figura 3-2), hay medidas que permiten la comparación entre ambas franjas horarias (antes y después) y otras que solo aportan una. Estas últimas tuvieron su propia función, ya que se emplearon como medidas de control y se contrastaron con las medidas pareadas.

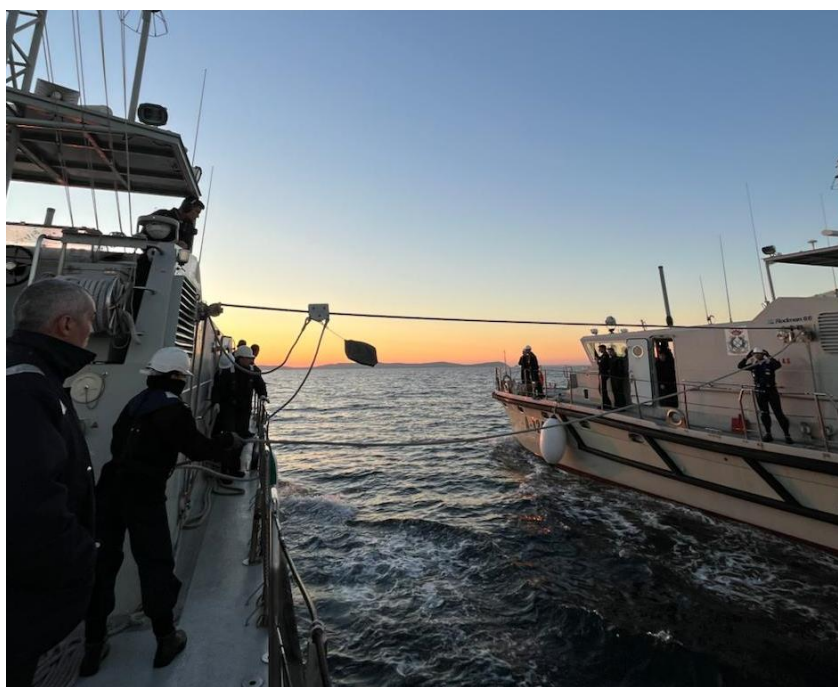


Figura 3-2 Salida nocturna

3.2.1 Criterios de inclusión y exclusión

Se han considerado válidas todas las mediciones que se realizaron bajo las condiciones establecidas para la prueba de tiempos de respuesta y correctamente registradas en el sistema de recogida de datos, salvo algunas excepciones:

- 1) Se excluyeron aquellas observaciones en las que el número de fallos era extremadamente elevado y sugería que la prueba no había sido realizada con la debida atención.
- 2) Se han descartado errores evidentes de medición o valores fisiológicamente improbables, siguiendo unos criterios previamente definidos.
- 3) Se han modificado algunas erratas que se encontraban en las pruebas, siempre que resultasen evidentes y su corrección fuese clara.

3.2.2 Consideraciones éticas y confidencialidad

El tratamiento de datos garantiza la confidencialidad de la información y la de los alumnos que participaron en el estudio. Las mediciones se asociaron a códigos personales, que tenían un formato de código alfanumérico generados para el estudio, permitiendo evitar completamente la identificación directa de los participantes.

Los datos han sido exclusivamente empleados para fines académicos y de investigación. Su análisis se ha llevado a cabo de forma agregada (sin analizar resultados de forma individual, comparaciones en términos de grupos, y sin conclusiones personalizadas). En ninguna ocasión se ha llevado a cabo una evaluación individual con fines disciplinarios o formativos, preservando el carácter científico del estudio.

3.3 Variables del estudio

El análisis estadístico llevado a cabo en este estudio gira en torno a una variable principal de interés: tiempo de respuesta. Esta resulta ser dependiente de otras variables explicativas, que son independientes, pero están relacionadas unas con otras en el contexto operativo, y en el estado fisiológico y subjetivo de los individuos.

3.3.1 Variable dependiente

La variable principal del estudio es el tiempo de respuesta, que se define como el intervalo temporal que transcurre entre el momento que aparece el estímulo hasta la emisión de la respuesta por parte de la persona que participa.

El tiempo de respuesta se registró en minutos y segundos, pero en ocasiones se ha empleado posteriormente su formato numérico para facilitar cálculos estadísticos.

Para cada sesión de medición se obtuvieron los conjuntos de tiempos individuales correspondientes a los alumnos que salían a navegar ese día antes y después de la salida a la mar. Una vez se recogieron los valores y se comenzó con el análisis, el primer paso fue filtrar y ordenar todos los datos. Más tarde, se calcularon las medias representativas (como son la media y la mediana) por semana, utilizándola como base de comparación para el análisis.

Más tarde, se consideró como variable complementaria a los tiempos de respuesta el número de fallos cometidos en cada prueba, entendiéndose como la cantidad de respuestas incorrectas o ausentes en cada prueba ante las preguntas de las pruebas.

3.3.2 Variables independientes

Las variables independientes enmarcadas en este estudio se dividen en tres tipos principales:

- a. Variables temporales

- **Semana de medición:** [1-9] cambia la dificultad de las pruebas según se observa la facilidad con la que los realizan los alumnos. Los alumnos también evolucionan respecto a su instrucción a lo largo del cuatrimestre.
- **Momento de medición:** antes o después de la navegación. Variable clave para analizar los efectos que tienen las salidas a la mar.

b. Variables contextuales

- **Curso académico:** la madurez naval y militar de los alumnos evoluciona a lo largo de los años en la escuela, por lo que es necesario estudiar cómo se enfrentan a la navegación y cómo vuelven a tierra.

c. Variables subjetivas

Estas variables son autorreportadas por los propios alumnos, y están relacionadas con el estado fisiológico de los mismos en el momento de la medición (la realización de la prueba). Estas son:

- Cantidad/calidad del sueño
- Malestar o náuseas
- Ansiedad, agobio o tensión
- Cansancio, somnolencia o fatiga

Estas variables se recogieron empleando escalas numéricas para cada una de ellas, y así poder tratarlas de forma cuantitativa.

3.3.3 Estructura de los datos

Algunos alumnos aportaron observaciones repetidas en la misma semana, dado que se encuentran repitiendo curso y atienden las salidas más frecuentemente que el resto de los alumnos, o bien son alumnos de quinto con titulación previa y adoptan la misma dinámica. Esto hace que la estructura en ocasiones presenta observaciones no independientes asociadas a un mismo individuo.

Esta característica se ha tenido en cuenta en el filtrado e interpretación de los datos, sobre todo en lo relativo a la dependencia intraindividual de los alumnos. Además, se han empleado técnicas compatibles con el software del trabajo en lo que respecta a este detalle.

3.4 Instrumentos y procedimiento

La recogida de datos se hizo a lo largo de nueve semanas donde se desarrollaban las salidas a la mar correspondientes al Adiestramiento a Flote que deben realizar los alumnos. Estas mediciones se realizaron en aulas antes y después de las navegaciones en las tardes de cada semana, intentado interrumpir lo menos posible en dicha actividad formativa.

3.4.1 Descripción de la prueba

La prueba consistió en la realización de unos exámenes que contaban aproximadamente con quince preguntas cada uno. Estas preguntas fueron ligeramente más sencillas las primeras semanas, y fueron adquiriendo dificultad con el tiempo. Los alumnos anotaban la hora a la que lo empezaban y finalizaban el examen con un reloj general que había para todos (y así evitar errores del reloj de cada uno). Escribían también el estado fisiológico en el que se encontraban (sueño, malestar/náuseas, ansiedad/agobio/tensión, cansancio/fatiga...) con una puntuación del [1-10].

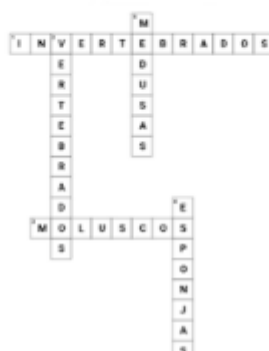
¿Qué número se obtiene al unir el primer dígito de color amarillo seguido de los dos dígitos color rojo? *

123209087252051

- ☐ 371
- ☐ 372
- ☐ 370

Figura 3-3 Pregunta de prueba realizada a los alumnos en la semana 7

¿En qué letra se interceptan las palabras invertebrados y medusas? *



- ☐ E
- ☐ O
- ☐ S
- ☐ D

Figura 3-4 Pregunta de la prueba realizada a los alumnos en la semana 8

3.4.2 Secuencia de medición

Siempre que fue posible, las mediciones se realizaron:

- Antes de la navegación
- Después de la navegación

El objetivo de esta doble medición era evaluar las predecibles variaciones en los tiempos de respuesta, asociadas al deterioro del rendimiento cognitivo por las actividades desarrolladas en el entorno marítimo de los alumnos. Sin embargo, debido a las limitaciones operativas y organizativas, no siempre pudieron todos los alumnos realizar ambas mediciones.



Figura 3-5 Sala de ordenadores donde se llevaron a cabo las pruebas

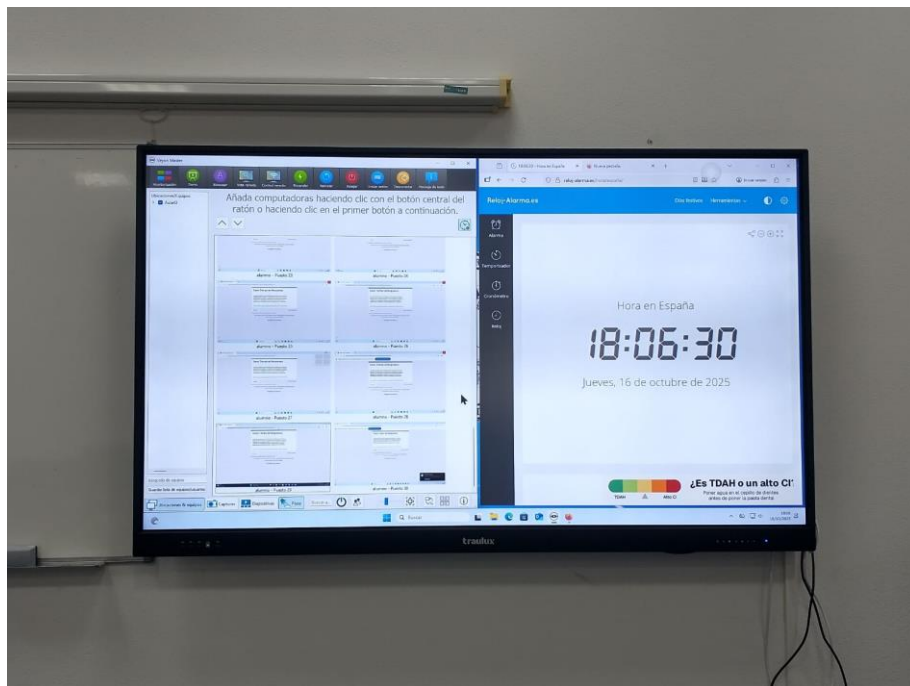


Figura 3-6 Reloj general empleado para realizar las mediciones de los tiempos de respuesta

3.4.3 Registro de variables complementarias

Además de las pruebas que medían los tiempos de respuesta de los alumnos y su número de fallos, también se recogió información de las variables relativas al estado fisiológico del participante de forma autorreportada. Estas son las variables subjetivas ya mencionadas:

- Horas de sueño previas
- Nivel de malestar o náuseas
- Nivel de ansiedad o tensión
- Nivel de cansancio o somnolencia

Estas variables se registran mediante dos formas:

1. Una pulsera que midió la calidad del sueño de los alumnos, o en su ausencia, una breve descripción por parte del alumno
2. Escalas numéricas que describían el estado de cada variable entre el [1-10], siendo el 1 nada y el 10 mucho.

Esto permitió su posterior tratamiento cuantitativo y análisis de correlación entre ellas, y con el tiempo de respuesta y número de fallos.

3.4.4 Condiciones del entorno

Las mediciones se realizaron en un entorno real de instrucción naval, por lo que no fue posible calcular de forma estricta las variables ambientales, como pueden ser:

- Movimiento del barco
- Condiciones meteorológicas
- Nivel de ruido
- Carga previa de trabajo

Estas condiciones son inherentes al contexto donde se desarrolló la navegación de los alumnos, este pretende ser analizado en la manera que influye a los alumnos, por ello en la prueba que se realiza a los alumnos una vez vuelven de la navegación, también se vuelve a recoger sus medidas respecto al estado fisiológico en el que se encuentran. Esto constituye un efecto diferenciador respecto a los estudios que se realizarían en un laboratorio.

3.5 Tratamiento estadístico de los datos

El tratamiento y análisis de los datos se ha realizado mediante el programa informático Microsoft Excel, con el uso de herramientas de:

- Estadística descriptiva
- Análisis comparativo de medias
- Correlación
- Modelos de regresión lineal simple

La selección de técnicas se ha realizado teniendo en cuenta:

- Filtros y estructura del conjunto de datos
- Tamaño muestral
- Limitaciones inherentes al entorno real

3.5.1 Reprocesamiento de datos

Antes de iniciar el análisis estadístico, era necesario realizar un proceso previo de revisión y depuración de los datos recogidos durante las pruebas experimentales. Esta fase resultó fundamental para garantizar la coherencia del conjunto de datos, detectar posibles errores de registro y tratar de forma adecuada los valores anómalos que pudieran influir en los resultados del análisis.

En primer lugar, se revisaron las muestras correspondientes a todas las semanas con el objetivo de identificar inconsistencias o errores evidentes en los registros. Se eliminaron aquellas observaciones cuyos tiempos resultaban fisiológicamente improbables o incompatibles con la duración estimada de la prueba, como valores excesivamente bajos —imposibles para el tiempo humano de procesamiento o reacción— o valores excesivamente altos que indicaban un error claro de registro en una prueba compuesta por aproximadamente quince preguntas tipo test.

Asimismo, los registros incompletos se descartaron cuando impedían realizar interpretaciones fiables o cálculos posteriores. No obstante, en aquellos casos en los que los datos parciales aún permitían calcular indicadores básicos, estos se mantuvieron únicamente para el cálculo de medias, pero no para análisis más complejos como correlaciones.

Durante este proceso también se identificaron valores atípicos. En este tipo de estudios, los datos extremos no siempre deben eliminarse automáticamente, ya que pueden reflejar lapsos atencionales u otros fenómenos relacionados con el rendimiento cognitivo. Por este motivo, la detección de estos valores se realizó mediante criterios estadísticos basados en la desviación típica, combinados con un análisis visual de las distribuciones obtenidas. Solo se excluyeron aquellos valores que representaban errores claros de medición o situaciones manifiestamente no representativas del comportamiento habitual del alumno.

Una vez depurados los registros, los datos se organizaron y estructuraron para facilitar su análisis estadístico. Se elaboró un archivo independiente para cada semana del experimento, ya que tanto las pruebas como las actividades realizadas durante las navegaciones podían variar entre semanas en términos de dificultad o condiciones de realización.

En cada archivo semanal se registró, para cada alumno, la siguiente información:

- Brigada o curso al que pertenecía
- Hora de inicio y finalización de la prueba
- Cuatro indicadores relativos al estado fisiológico: sueño, malestar o náuseas, ansiedad o tensión, y cansancio o somnolencia
- Aproximadamente quince preguntas correspondientes a la prueba y sus respectivas respuestas

A partir de estos datos iniciales se calcularon posteriormente diversas variables necesarias para el análisis:

- Tiempo total de realización de la prueba.
- Identificación de si la prueba se había realizado antes o después de la navegación.
- Indicadores relacionados con la calidad o cantidad del sueño.
- Corrección de las respuestas a las preguntas del test.
- Número total de fallos cometidos por cada alumno.

Tras estos cálculos se llevó a cabo una segunda revisión de los registros, especialmente necesaria al trabajar con variables temporales y distintos formatos de tiempo. Finalmente, se verificó la coherencia entre las variables registradas y derivadas, garantizando que el conjunto de datos estuviese correctamente estructurado para su posterior análisis.

Durante todo el proceso no se realizaron adiciones artificiales de datos para completar registros incompletos. El análisis se llevó a cabo exclusivamente con las observaciones obtenidas durante el experimento, evitando introducir valores ficticios que pudieran distorsionar la interpretación de los resultados. Además, siempre se trabajó con el conjunto entero de observaciones válidas, con el fin de mantener la representatividad del conjunto de datos.

3.5.2 Análisis descriptivo

Una vez finalizado el proceso de depuración del conjunto de datos, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo con el objetivo de obtener una primera aproximación al comportamiento de las variables estudiadas.

Para ello se calcularon diversos indicadores estadísticos básicos aplicados tanto a los tiempos de respuesta como al número de fallos registrados en cada prueba. Entre las medidas utilizadas se encuentran:

- Media aritmética
- Mediana
- Moda
- Desviación típica
- Rango intercuartílico

Estas medidas permitieron analizar tanto la tendencia central como la dispersión de los datos, proporcionando una visión general del comportamiento de los resultados obtenidos por los alumnos en las distintas pruebas, tanto antes como después de las navegaciones.

Además del cálculo de estos indicadores, se utilizaron representaciones gráficas para visualizar la distribución de los tiempos de respuesta y del número de fallos. Estas representaciones facilitaron el análisis de la forma de las distribuciones, la identificación de posibles asimetrías y la detección de valores extremos.

El uso conjunto de estas herramientas permitió observar patrones generales en los datos, así como posibles concentraciones de valores o variaciones en el rendimiento que podían estar asociadas a la dificultad de las pruebas o a episodios de menor atención por parte de los participantes.

En conjunto, el análisis descriptivo constituyó una primera fase fundamental para la interpretación de los datos experimentales, ya que permitió identificar tendencias generales y orientar los análisis posteriores realizados en el estudio.

3.5.3 Estructuración de la base de datos para el análisis

Una vez concluyó el proceso de depuración de datos experimentales, fue necesario reorganizar toda la información recogida a lo largo de las semanas que duró el experimento, para poder darle una estructura limpia y homogénea que permitiese manipular los datos y llevar a cabo las operaciones que precisaba el análisis estadístico del trabajo.

De primera mano, se trabajó con archivos de los registros de cada semana de medición por separado, puesto que cada semana presentaba sus propias particularidades. Más tarde, se formuló una base de datos en la que se integraron todas las observaciones de las que se disponía.

En esta estructura final, cada fila representaba una observación individual, correspondiente a un alumno en un momento concreto de las mediciones. En esa fila, cada columna contenía las distintas variables que se tuvieron en cuenta para el experimento.

Entre estas variables, se encuentran:

- Identificador anónimo del alumno (mediante un código personal)
- Brigada a la que pertenece
- Hora a la que el alumno inició la prueba
- Hora a la que el alumno finalizó la prueba
- Criterio generado para saber si el alumno había realizado la prueba antes y después, o solamente una vez
- Momento en el que había realizado la prueba (antes o después de la navegación)
- Puntuación de sueño que mostraba su reloj en app Smart Band
- Malestar/mareo/náuseas (autorreportado)
- Ansiedad/agobio/tensión (autorreportado)
- Cansancio/somnolencia/fatiga (autorreportado)
- Preguntas
- Respuestas
- Número de fallos

Es necesario mencionar que no todos los alumnos contaban con este tipo de reloj, por lo que muchos de ellos autorreportaron la calidad y cantidad de su sueño la noche anterior, o directamente señalaron que no tenían reloj.

	A	B	C	D	E	F	G
1	SEMANA	Marca temporal	Brigada a la que pertenece	Código Personal	Nº VECES	Hora: minutos: segundos	DURACIÓN
312	SEMANA 5	18:35:58	Primera	TM2206	NO	18:29:48	0:06:10

Tabla 3-1 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (alumno, brigada, horas de medición y duración)

	H	I	J	K	L
1	¿En qué momento está realizando el test?	Puntuación del sueño que muestra la App Smart Band	Malestar/Mareo/Nauseas	Ansiedad/Agobio/Tensión	Cansancio/Somnolencia/fatiga
312	Después de la navegación	5	6	6	7

Tabla 3-2 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (estado fisiológico alumnos)

	M	N	O	P
1	¿La palabra de la imagen tiene exactamente la misma cantidad de vocales?	respuesta	¿Qué palabra se forma al anteponer la palabra TECNOL a la palabra de la imagen?	respuesta 2
312	E y O	0	TECNOCENTRO	0

Tabla 3-3 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (preguntas y respuestas)

Es necesario explicar que se puntuó:

- 0: respuesta correcta
- 1: respuesta incorrecta

Con el fin de llevar un contador al final del número total de fallos

	Q	R	S	T
1	En la imagen, ¿las palabras DELFIN y COCODRILO comparten la letra?	respuesta 14	¿En qué color se encuentra sombreada la palabra GRIS?	respuesta 15
312	D	0	azul	0

Tabla 3-4 Fila de datos de medición de Microsoft Excel (número de fallos)

Este tipo de organización hizo posible trabajar de forma cómoda con el conjunto completo. Se estructuró mediante el uso de filtros que permitía seleccionar todas las filas con determinadas características, y construir una tabla nueva ya organizada. Esta herramienta facilitó enormemente la división de grupos de alumnos, permitiendo el análisis estadístico de manera coherente entre todas las semanas de estudio.

El uso de una base de datos bien estructurada permite también detectar más fácilmente posibles inconsistencias en los propios registros, garantizando a su vez la coherencia entre variables empleadas en los análisis posteriores.

En general, este experimento generó un volumen considerable de observaciones a lo largo de las nueve semanas. Cada una incluía mediciones realizadas antes y después de la navegación, lo que dio lugar a un conjunto de datos compuesto por casi 3000 mediciones. Cada uno de estos registros corresponde a la realización de una prueba por parte del alumno en un momento concreto del experimento. Esta cantidad de datos permite realizar análisis descriptivos y comparativos razonablemente representativos.

3.5.4 Clasificación de tiempos según el número de fallos

Para poder investigar acerca de la posible relación entre el éxito en las respuestas de las pruebas, y el tiempo que llevó a los alumnos realizar dichas pruebas, se llevó a cabo una clasificación en la que se dividieron las observaciones en función del número de fallos cometidos en las pruebas.

Estas agrupaciones se dividieron en:

- 0 fallos
- 1 fallo
- 2 fallos

Cabe mencionar que se estableció como criterio límite 2 fallos como máximo, ya que se consideró que el hecho de cometer 3 o más fallos se relacionaba con falta de interés por parte del alumno en realizar la prueba.

Esta clasificación permitió comprobar si había algún tipo de diferencia sistemática en cuanto a los tiempos de respuesta, referenciándose a los distintos niveles de precisión en la prueba. Se tenía como intención valorar si los alumnos que realizaban mejores pruebas (menos fallos) tendían a tener tiempos de respuesta distintos a aquellos que cometían un mayor número de errores.

Este análisis que se realiza entre categorías también nos ofrece la posibilidad de identificar posibles patrones que relacionan el equilibrio con la rapidez y precisión en la ejecución de la tarea. En ciertas ocasiones, una respuesta más veloz, se asocia con un mayor número de errores, mientras que tiempos de respuesta mayores invitan a pensar que estos tiempos de reacción se deben a un mayor detenimiento en procesar cuidadosamente la información.

La comparación entre estos tres distintos grupos de número de errores proporciona, por ende, información adicional sobre el comportamiento de los alumnos que participaron en las pruebas, complementando el análisis de los tiempos de respuesta.

3.5.5 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos temporales

Además del análisis realizado para estudiar cómo era la tendencia central y la dispersión, también se llevó a cabo un estudio de la forma en la que se distribuían los tiempos mediante la división del conjunto total en diferentes intervalos temporales.

Esta tarea consistió en dividir el rango total de todos los tiempos observados (incluyendo los atípicamente altos) en franjas de duraciones definidas, contabilizando el número de mediciones (alumnos que habían realizado dicha prueba) en cada uno de ellos. De esta manera, fue posible obtener una representación visual y graficar esquemáticamente la concentración de los valores temporales en distintos rangos.

Este análisis de intervalos posibilita identificar diferentes patrones que no siempre se perciben de forma evidente mediante medias y medianas. Algunos de los reconocimientos que ha aportado este criterio han sido:

- Concentraciones de tiempos especialmente rápidos
- Apariciones de respuestas raramente lentas
- Posibles desplazamientos de la distribución entre distintas condiciones del experimento

Asimismo, para cada intervalo de tiempo, se hizo un recuento de la frecuencia de fallos asociados a estas franjas temporales. Esto permitió analizar la posible relación entre la duración de tiempo que tomaba a los alumnos realizar la prueba, y la precisión de sus respuestas.

Este tipo de representaciones proporcionan una visión más completa del comportamiento de los alumnos al realizar las pruebas, permitiendo así complementar el análisis descriptivo clásico con una interpretación más visual, aportándonos unos resultados más reveladores.

3.5.6 Preparación de los análisis comparativos correlacionales

Una vez se consiguió estructurar todo el conjunto de datos, y se realizaron las primeras descripciones estadísticas, se prepararon distintos análisis comparativos y relacionales entre las observaciones, con el fin de poder idear posibles hipótesis referentes al estudio.

En primer lugar, se organizaron los datos en una estructura que permitía comparar las mediciones realizadas antes de la navegación y después de ella. En aquellos casos que existían observaciones pareadas correspondientes al mismo alumno en ambas condiciones, fue posible realizar comparaciones directas. En el caso de no existir correspondencia directa entre las observaciones, se analizaron los datos de manera independiente entre los distintos grupos de observaciones.

Fue preciso preparar las variables necesarias que se emplearon en el análisis, para estudiar la posible influencia de los factores fisiológicos y subjetivos que se pidió autorreportar a los alumnos a la hora de realizar las pruebas. Para ello, se calcularon los coeficientes de correlación de:

- Tiempos de respuesta
- Número de fallos

Con:

- Cantidad y calidad del sueño
- Nivel de cansancio
- Nivel de ansiedad o estrés
- Posible malestar o náuseas

Este análisis permitió explorar la probable existencia de relaciones entre el estado fisiológico de los alumnos y su rendimiento cognitivo durante las pruebas.

Por último, se prepararon comparaciones entre cursos (brigadas) y el análisis de la evolución temporal a lo largo de las semanas que duró el experimento. Este análisis permitió observar posibles diferencias asociadas al nivel de experiencia de los alumnos y su adaptación progresiva al nuevo curso y a las condiciones de la navegación y la propia prueba.

3.5.7 Comparación antes-después de la navegación

Para analizar el efecto inmediato que tenían las navegaciones sobre los alumnos que realizaron la prueba, se realizó una comparación entre las mediciones previas y posteriores a la salida a la mar de los alumnos que sí habían podido realizar la prueba ambas veces en esa tarde.

En los casos donde realizar la prueba antes y después no fue posible (no había correspondencia directa entre mediciones), se tuvieron en cuenta las mediciones para muestras independientes.

3.5.8 Relación con variables subjetivas

Se exploró la posible relación existente entre los tiempos de respuesta y el número de fallos con horas de sueño, fatiga, ansiedad y malestar (variables subjetivas) mediante:

- Cálculos de coeficientes de correlación
- Ajuste de regresión lineal

Con estos análisis fue posible estimar la influencia que efectuaba relativamente cada variable subjetiva sobre las dos variables principales (tiempos de respuesta y número de fallos).

3.5.9 Análisis por curso y evolución temporal

Se analizaron las posibles diferencias que se podían dar entre cursos (por madurez profesional, resistencia en la mar, experiencia en Lanchas de Instrucción...) mediante comparaciones de medias y análisis de varianza simple.

Además, se tuvo en cuenta la consideración de estudiar una posible evolución en los tiempos de respuesta a lo largo de las semanas, con el fin de identificar patrones en las tendencias temporales: posibles mejoras asociadas a la desenvoltura en pruebas, deterioros asociados a la acumulación de carga, mejoras en el aprendizaje, adaptación a las navegaciones...

3.5.10 Pruebas de hipótesis

Para poder evaluar posibles diferencias importantes entre distintas condiciones en las que se realizó la prueba, se realizaron contrastes de hipótesis aplicadas a los tiempos de respuesta y al número de fallos cometidos.

Principalmente, se analizaron las diferencias más importantes entre las mediciones de las pruebas realizadas antes de la navegación, contrastándolas con las mediciones de las pruebas realizadas

posteriormente a la salida a la mar. El objetivo de esta confrontación temporal era identificar posibles variaciones en el rendimiento cognitivo asociadas a la exposición de las condiciones características de la navegación en el ámbito militar.

Además del contraste antes-después de la navegación, también se quiso explorar los efectos de esta actividad sobre distintos grupos de alumnos de la Escuela Naval Militar. Un criterio para crear estos grupos de estudio fue propiamente los distintos cursos (brigadas) que participan en las salidas de Lanchas de Instrucción. Este análisis pretendía dar respuesta a si existían o no variaciones en el comportamiento de los tiempos de respuesta, relacionados con la experiencia, instrucción en la mar, y resistencia contra las adversidades del alumnado.

De forma complementaria, también se calcularon coeficientes de correlación entre tiempos de respuesta, número de fallos, y las distintas variables subjetivas que ya se registraron por parte de los participantes (horas de sueño, fatiga, ansiedad o malestar). La finalidad de este cálculo era explorar las posibles relaciones entre el estado fisiológico de los alumnos y su rendimiento en la prueba.

3.5.11 Modelos empleados

El análisis estadístico de este Trabajo de Fin de Grado se ha centrado principalmente en el uso de técnicas de análisis descriptivo y en la exploración de relaciones entre variables mediante modelos relativamente sencillos de regresión y correlación.

Concretamente, se emplearon modelos de regresión lineal simple para evaluar la influencia relativa de cada una de las distintas variables explicativas de los tiempos de respuesta y el número de fallos. Este tipo de modelo nos permite estimar la relación que existe entre una variable dependiente con una u otras variables independientes facilitando así la interpretación del efecto por separado que aporta cada factor.

Además, se emplearon herramientas de análisis de correlación para identificar las posibles asociaciones entre las variables fisiológicas autorreportadas por los alumnos y los indicadores de rendimiento cognitivo obtenidos en las pruebas.

La selección de estos métodos pone de manifiesto la naturaleza exploratoria del estudio, y el carácter aplicado del trabajo, priorizando tipos de modelos analíticos que permiten una interpretación clara y sin lugar a subjetividades, que sea compatible con las características y requerimientos del conjunto de datos dado.

3.5.12 Software utilizado

El tratamiento de datos y análisis estadístico de los mismos se llevó a cabo mediante el programa informático Microsoft Excel. Este software permite organizar y estructurar la base de datos recogidos durante el experimento. Además, también posibilita los cálculos estadísticos necesarios para el análisis descriptivo. Por último, esta herramienta da lugar a la exploración de relaciones entre las distintas variables.

Las herramientas con las que cuenta el programa de Microsoft Excel fueron utilizadas para cálculos de estadística, obtención de coeficientes de correlación, elaboración de representaciones gráficas, y construcción de modelos de regresión lineal simples.

Se consideró adecuado el uso de este software para el alcance del presente trabajo, ya que posibilita el tratamiento estadístico que requiere el estudio de los tiempos de respuesta, de manera eficiente y transparente, manteniendo a su vez la constancia de las fórmulas que han sido empleadas, junto al origen de sus datos.

Figura 3-7 Registro con 260 mediciones de la semana 3



Figura 3-8 Reestructuración y cálculo de datos con Microsoft Excel

3.5.13 Limitaciones del análisis estadístico

El conjunto de datos contiene medidas que se repiten antes y después de un hecho (la navegación), y en él se presenta una estructura jerárquica (brigadas de distintos cursos), por lo que hay quién puede opinar que un análisis de modelos de efectos mixtos o técnicas más avanzadas habría sido ideal para este tipo de estudio.

Sin embargo, teniendo en cuenta las herramientas y el software a emplear, y el alcance operativo del trabajo, se decidió que sería más lógico utilizar aproximaciones basadas en análisis descriptivo, comparativo y regresión lineal básica, interpretando los resultados con cuidado especial, y respetando la posible dependencia intraindividual.

Este conjunto de procedimientos constituye la base metodológica que permitirá el desarrollo del análisis y obtención de resultados que se describirán en el siguiente capítulo.

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico de los datos experimentales. El objetivo es evaluar el comportamiento de los tiempos de respuesta y la relación que guardan con las distintas variables registradas. Se analizan tanto las características generales, como las diferencias entre condiciones, además de posibles patrones entre los datos. Todo esto hace posible interpretar y extraer conclusiones del rendimiento cognitivo de los alumnos en el entorno de instrucción naval.

4.1 Caracterización general de los tiempos de respuesta

Una vez llevado a cabo el procedimiento completo de depuración y organización de los datos, previamente descrito en el capítulo anterior, se procede con el análisis de los tiempos de respuesta obtenidos a lo largo de todas las pruebas realizadas por los alumnos de la Escuela Naval Militar durante las semanas que tomó el estudio.

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo del conjunto total de datos registrados, con el fin de obtener una visión global de los tiempos de respuesta observados. Con ello, se calcularon diferentes indicadores estadísticos:

- Media aritmética
- Mediana
- Desviación típica

Que permitían caracterizar ambos:

- Tendencia central
- Dispersión de datos

El análisis de estos indicadores también permitió obtener el rango habitual en el que varían los tiempos de respuesta de los alumnos durante la realización de las pruebas. Asimismo, el estudio sobre la dispersión de estos datos permitió analizar la variabilidad presente en el conjunto de mediciones. Esto era esperable por la naturaleza del experimento, ya que este tipo de estudios del rendimiento cognitivo se ven influidos por múltiples factores, como son el estado fisiológico del participante al realizar la prueba, o las condiciones en las que se llevó a cabo.

No solo se realizó el cálculo de estas medidas estadísticas, sino que también se elaboraron gráficas para poder estudiar las respectivas representaciones visuales de las observaciones durante el experimento. Estas representaciones permiten observar con mayor claridad la distribución de los tiempos de respuesta. Además, facilitan la identificación de valores extremos o concentraciones de datos en determinados rangos temporales.

En términos generales, los resultados obtenidos del experimento muestran que los tiempos de respuesta presentan la distribución característica de este tipo de variables: concentraciones que varían en torno a los valores medios; y con una menor frecuencia, valores más elevados que se asocian a respuestas especialmente lentas, o rápidas en menor medida.

Este primer análisis descriptivo sirve como punto de partida para los análisis que se presentan a continuación. En ellos, se profundizará sobre el rendimiento cognitivo de los alumnos en cuanto a las diferencias entre:

- Grupos
- Condiciones experimentales
- Influencias variables fisiológicas y contextuales

Antes de analizar el comportamiento global de los tiempos de respuesta, es necesario saber que las pruebas que se realizaron en las distintas semanas a lo largo del experimento no fueron idénticas, ni siguieron la misma tipología de preguntas. Fueron cambiando gradualmente, aumentando su nivel de dificultad cuando se observaba que los alumnos tomaban demasiado poco tiempo en realizarlas. Por este hecho, comparar directamente todos los tiempos de respuesta en una única distribución no resulta demasiado útil, ya que introduciría un trecho entre la dificultad de la prueba y el rendimiento de los participantes.

Por este motivo, se realizó un estudio de los tiempos de respuesta por semana. Esto permite comparar las mediciones obtenidas bajo condiciones equivalentes en lo que la dificultad de la prueba respecta, dentro de cada periodo de medición.

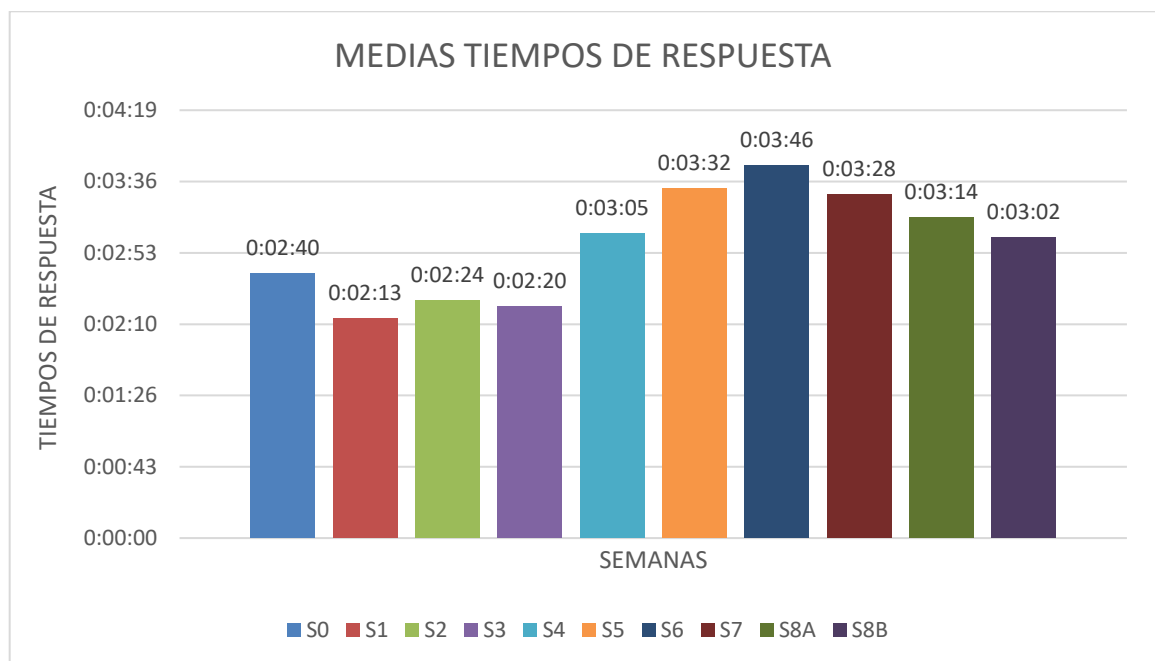


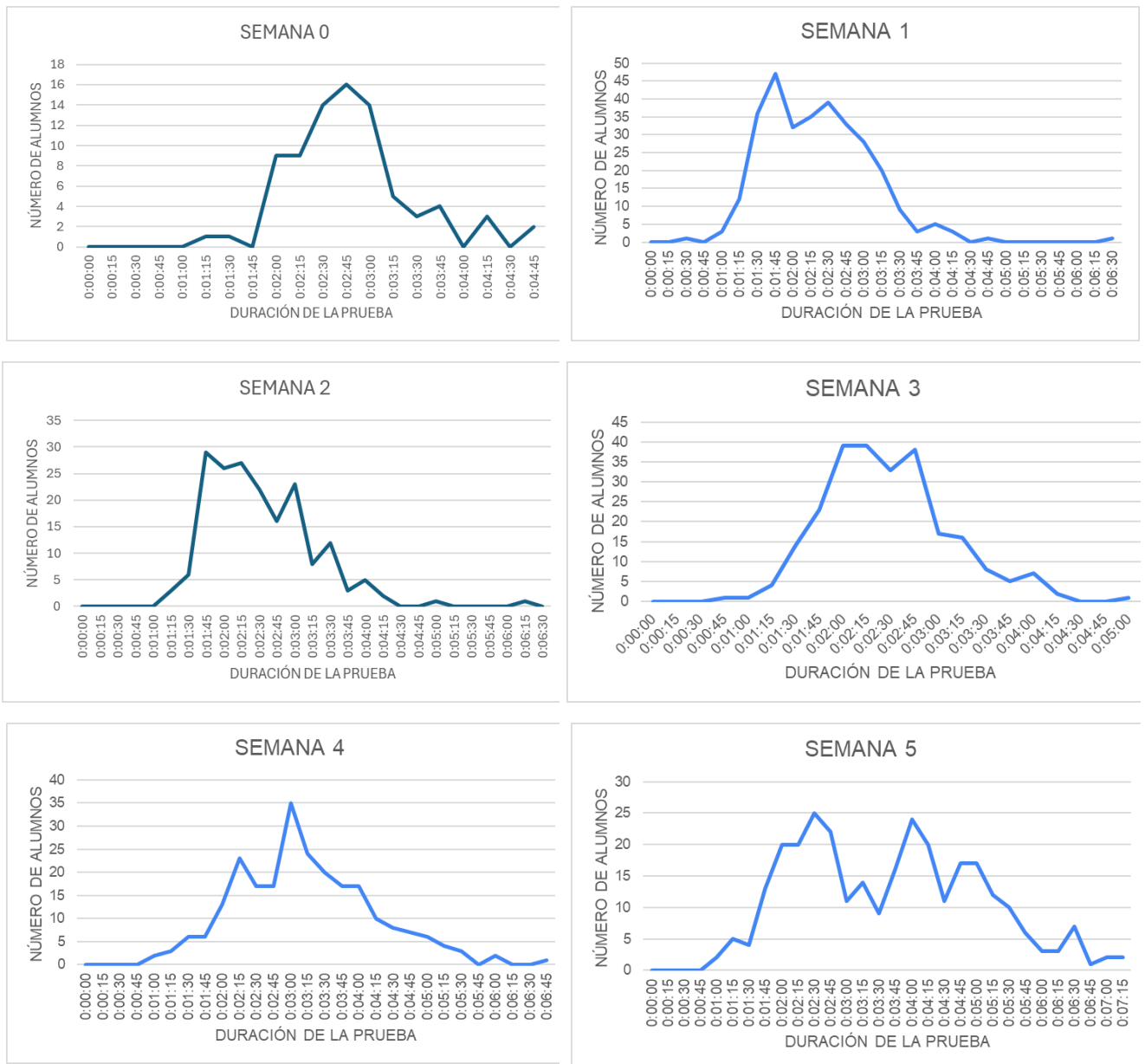
Figura 4-1 Medias de los tiempos de respuesta registrados durante las pruebas realizadas por los alumnos por semanas

Como es posible observar en la figura 4-1, los tiempos medios de respuesta presentan ligeras variaciones a lo largo de las distintas semanas que componen el experimento. En las primeras semanas, se registraron valores de menor duración, con tiempos medios que variaban en torno a los 2 minutos y 15-40 segundos.

A partir de la cuarta semana, se aprecia un incremento progresivo del tiempo medio que empleaban los alumnos para completar las pruebas, llegando a alcanzar valores más elevados en las semanas sexta y séptima, con duraciones cercanas a los 3 minutos y 30-40 segundos.

Este comportamiento puede deberse a un aumento progresivo durante las semanas en la dificultad de las preguntas en las pruebas llevadas a cabo durante el experimento, tal y cómo se explicó en el capítulo metodológico. En las últimas semanas del estudio, se aprecia una ligera reducción de tiempos medios de respuesta, volviendo a valores cercanos a los 3 minutos. Esto podría significar una adaptación por parte de los alumnos al tipo de prueba al que se estaban enfrentando, combinado con las características específicas de las pruebas en las sesiones.

A continuación, en la Figura 4-2 se muestran las gráficas de la distribución de los tiempos de respuesta referentes a cada semana.



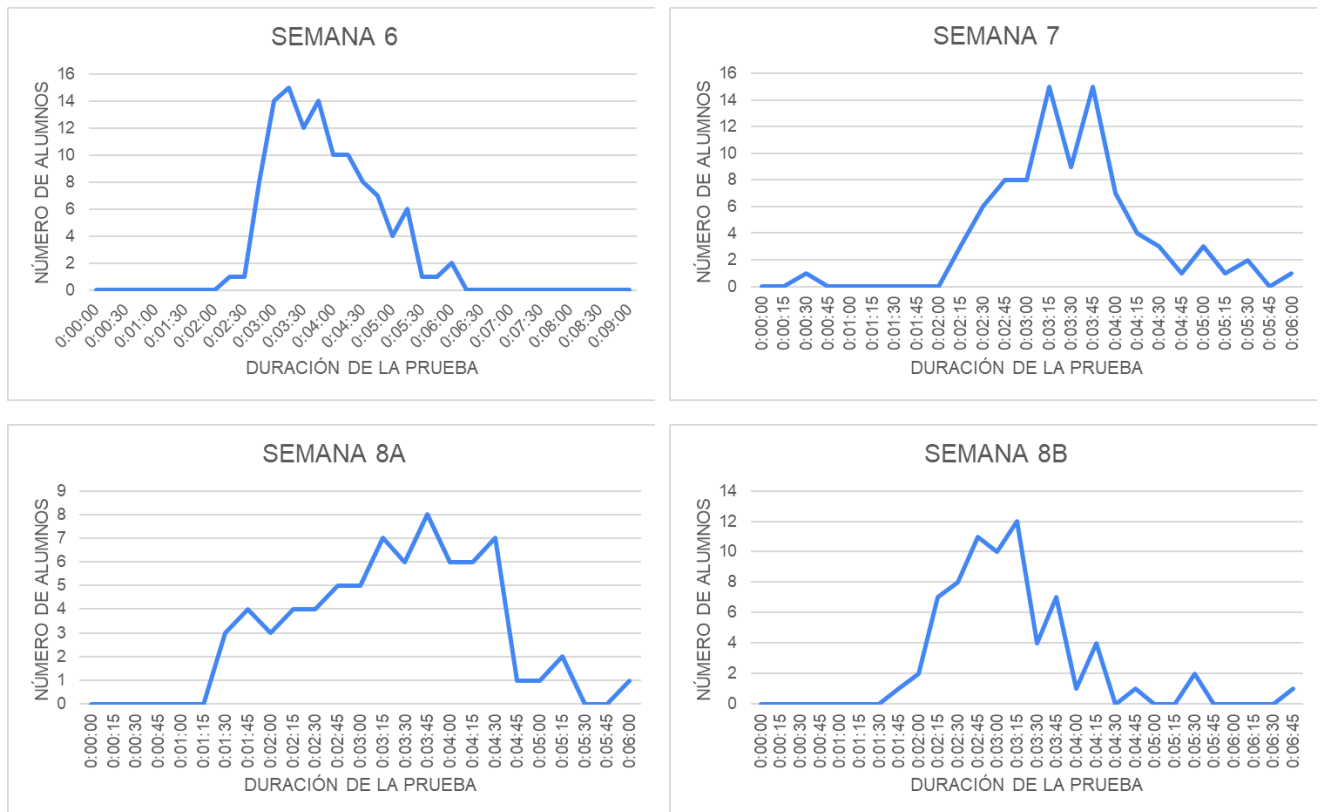


Figura 4-2 Distribución de tiempos de respuesta por semanas

La Figura 4-2 muestra la distribución de los tiempos de respuesta para cada una de las semanas del experimento. A diferencia de un análisis global, esta evaluación es necesaria debido a los diferentes tipos de prueba a los que se enfrentaron los alumnos en cada periodo, y que, por ello, provocan una distribución tiempos de respuesta distintas con sus rasgos pertinentes, y condicionadas por los contextos de cada semana (distintos ejercicios en las Lanchas de Instrucción, diferente meteorología, carga académica...)

En términos generales, todas las distribuciones presentan una forma que se aproxima a la distribución Gaussiana, en la que predomina la asimetría positiva. Este rasgo es característico en datos de tiempos de respuesta, donde la mayoría de las observaciones se centran entorno a unos valores centrales, y se presenta una cola hacia valores más elevados por circunstancias más atípicas pero probables.

Para realizar los cálculos estadísticos anteriores, se tuvieron en cuenta 1721 mediciones, que se consideraron como válidas, pero el total de observaciones registradas realmente fue de 1994 mediciones (en total, se decidieron eliminar 273 mediciones por considerarse inválidas).

En las cuatro primeras semanas (Semana 0. Semana 3), se observa mayor concentración de datos y menos dispersión, lo que es equivalente a una homogeneidad mayor en los tiempos de respuesta. Casualmente, estas cuatro semanas son de las que cuentan con un mayor número de participantes (82, 308, 139, y 238 participantes en total), y es posible que este sea el motivo por el que adquieren una forma más parecida a la distribución Gaussiana, cómo explica Galton en sus experimentos de distribuciones normales, donde indica cómo a mayor número de observaciones, más clara es la forma de distribución Gaussiana [10].

A partir de la semana 4, se aprecia un incremento de la dispersión e las distribuciones, alcanzándose un máximo en las semanas 5 y 6 (en la semana 5 un rango intercuartílico de 2 minutos y 6 segundos). Este incremento puede verse asociado al incremento de dificultad en las pruebas a realizar, dando lugar a mayores diferencias en el rendimiento cognitivo de los alumnos.

En las semanas posteriores (semanas 7-8B) vuelve una ligera estabilización de las distribuciones, con una ligera reducción en las dispersiones, lo que puede ser señal de una adaptación por parte de los alumnos a la dinámica de las pruebas.

	SEMANA 0	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
MEDIA	0:02:46	0:02:13	0:02:25	0:02:21	0:03:04
MEDIANA	0:02:37	0:02:10	0:02:17	0:02:16	0:02:59
DESVIACIÓN TÍPICA	0:01:06	0:00:44	0:00:45	0:00:39	0:01:00
RANGO INTERCUARTÍLICO	0:00:41	0:01:03	0:00:58	0:00:47	0:01:19
MÁXIMO	0:04:37	0:06:19	0:06:01	0:04:46	0:06:39
MÍNIMO	0:01:14	0:00:28	0:01:12	0:00:44	0:00:45
NÚMERO DE OBSERVACIONES	83	308	139	238	241

Tabla 4-1 Resumen de estadísticos descriptivos de los tiempos de respuesta de las semanas 0 a la 4

	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8A	SEMANA 8B
MEDIA	0:03:30	0:03:39	0:03:22	0:03:13	0:03:02
MEDIANA	0:03:32	0:03:32	0:03:17	0:03:15	0:02:58
DESVIACIÓN TÍPICA	0:01:23	0:00:54	0:00:50	0:01:00	0:00:51
RANGO INTERCUARTÍLICO	0:02:15	0:01:08	0:00:52	0:01:30	0:00:55
MÁXIMO	0:07:14	0:06:11	0:05:46	0:05:56	0:06:41
MÍNIMO	0:00:49	0:01:00	0:00:23	0:01:22	0:01:38
NÚMERO DE OBSERVACIONES	296	144	87	62	71

Tabla 4-2 Resumen de estadísticos descriptivos de los tiempos de respuesta de las semanas 5 a la 8B

En las Figuras 4-1 y 4-2 se muestra un resumen de los indicadores estadísticos descriptivos de cada semana, a modo esquemático y con la finalidad de profundizar un poco más en los valores concretos de las gráficas representadas anteriormente.

Además, se observa la aparición de algunos valores extremos. Este tipo de observaciones son relativamente poco frecuentes, pero su inclusión es necesaria para mantener la autenticidad del estudio llevado a cabo, y la representatividad de todo el conjunto de datos, reflejando posibles situaciones de interrupción, distracción o dificultad en la realización de la prueba.

4.2 Comparación antes y después navegación

Una vez se llevó a cabo el análisis del comportamiento general de los tiempos de respuesta, se continuó con el estudio de las posibles consecuencias que podrían tener las salidas a la mar de los alumnos sobre su rendimiento cognitivo en las variaciones de los tiempos de respuesta.

Con ello, se empezó con la comparación de los tiempos de respuesta obtenidos en las pruebas que se realizaron previamente a la navegación, con las medidas registradas después de la actividad. Con esa evaluación se pretendía comprobar si la exposición a las condiciones características del entorno marino (como el constante movimiento del buque y exposición a las condiciones meteorológicas), y la realización de los ejercicios (fatiga acumulada y carga cognitiva asociadas a las actividades relativas a la instrucción naval) que se realizan en lanchas, tenía algún efecto en la rapidez con la que los alumnos luego procesaban la información mientras realizaban las pruebas.

Siempre que fue posible, se priorizó el análisis de las observaciones de los alumnos que realizaron la prueba ambas veces (antes y después de la navegación), sin descartar los otros. Estos registros pareados permitieron establecer comparaciones directas entre las mediciones previas y posteriores a la navegación. Sin embargo, se dieron limitaciones operativas propias de la flexibilidad organizativa del entorno de formación, y no todos los participantes pudieron siempre realizar ambas pruebas (a veces únicamente antes, pero casi todas solamente después). En los casos que no se contaba con

correspondencia entre observaciones, se consideraron los registros de las mediciones como muestras independientes, y se tuvieron en cuente para otros cálculos.

Para facilitar la interpretación de los resultados, fueron calculados distintos indicadores estadísticos descriptivos de los tiempos de respuesta en las dos distintas condiciones respecto a la navegación. Estos incluían:

- ✓ Media
- ✓ Mediana
- ✓ Desviación típica

Estas operaciones no ayudan a analizar la tendencia central de los tiempos registrados únicamente, sino que también permiten visualizar de una forma más clara las posibles diferencias que se buscan entre los tiempos de respuesta registrados antes de la navegación y los que fueron registrados en la prueba posterior.

En aquellas ocasiones en las que se disponía de mediciones de la duración de la prueba, realizadas antes y después por el mismo alumno, se calculó la diferencia entre ambos tiempos de respuesta:

$$\Delta t = t_{\text{después}} - t_{\text{antes}}$$

Siendo:

- $t_{\text{después}}$: duración de la prueba realizada por el alumno después de la salida a la mar
- t_{antes} : duración de la prueba realizada por el alumno antes de la salida a la mar

De este modo, si:

- $\Delta t < 0$: al alumno le llevó más tiempo realizar la prueba antes de la navegación
- $\Delta t > 0$: al alumno le llevó más tiempo realizar la prueba después de la navegación

Este procedimiento permite analizar directa la variación individual de los alumnos en el tiempo de respuesta asociado a las navegaciones. Más allá, también se calcularon las medias de los conjuntos, para observar la tendencia de los cambios en los tiempos de respuesta antes y tras la navegación.

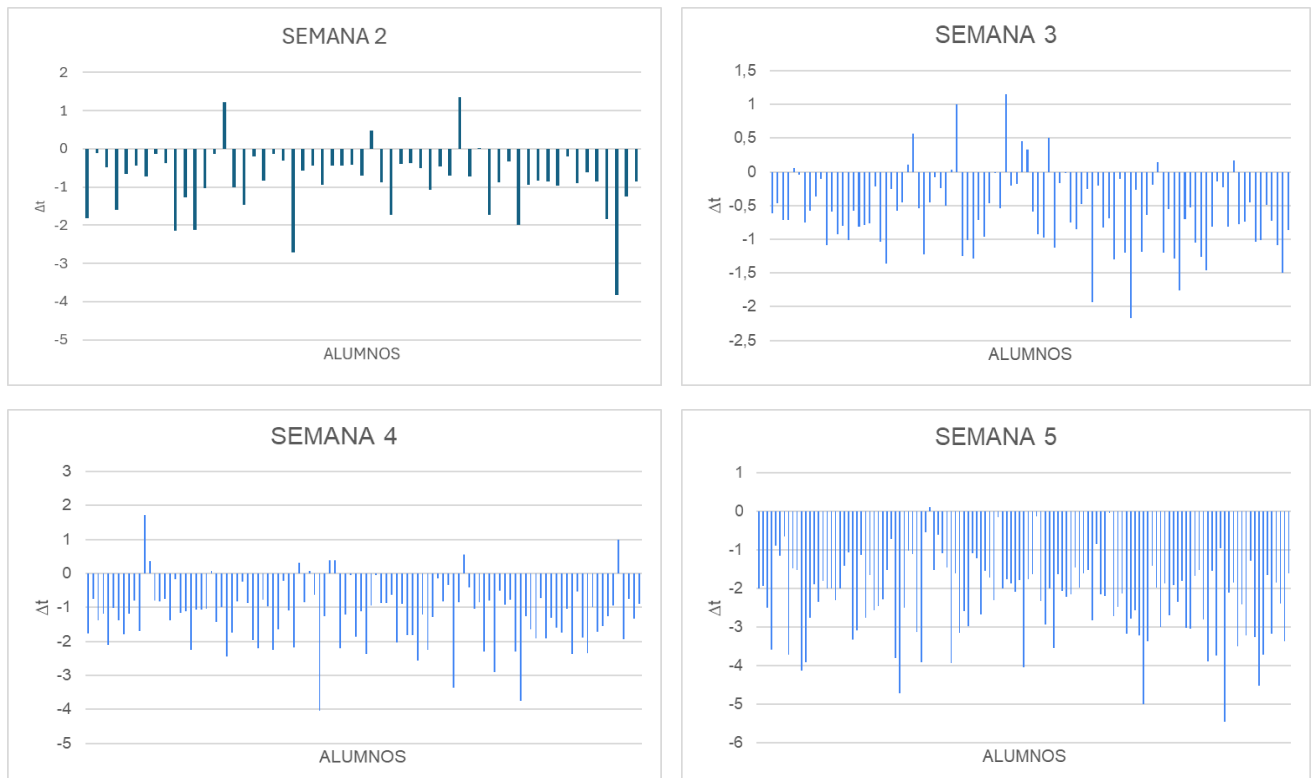


Figura 4-3 Figuras de la variación individual del tiempo de respuesta antes y después de la navegación (Δt)

Con el objetivo de analizar la variación individual de los tiempos de respuesta antes y después de la salida en lanchas de instrucción, se calculó la diferencia entre tiempos registradas después y antes de la navegación (Δt), en aquellas personas en las que era posible por la existencia de paridad entre las dichas mediciones.

La figura 4-3 muestra los correspondientes valores de Δt de distintos alumnos para varias semanas d las que duró el experimento. En esta representación, los valores positivos ($\Delta t > 0$) indican que el alumno tomó más tiempo en completar la prueba después de la navegación, mientras que los valores negativos ($\Delta t < 0$) indican que el alumno tardó más tiempo en completar la prueba antes de la salida a la mar.

En términos generales, se observan mayoritariamente valores que se encuentran por encima del $\Delta t = 0$, lo que indica que mayoritariamente, los alumnos tardaron más tiempo en realizar la prueba antes de la navegación, que después de la misma.

Realmente, el resultado esperado es que el cansancio de la actividad y el estrés que conllevan los ejercicios de la navegación derivasen en el resultado contrario. Sin embargo, este comportamiento puede verse afectado con varios factores.

Por una parte, es posible que una salida a la mar requiera del alumno cierto grado de:

- Estado de alerta
- Mayor activación

Lo que podría favorecer una ejecución más rápida (y con menos errores) de la prueba.

Por otra parte, la familiaridad con la tarea por parte del alumno también podría considerarse otro factor a tener en cuenta. Ninguna de las tareas requería memorizar ningún concepto, sin embargo, si ya se ha realizado la misma prueba una vez, hace escasas horas, es posible que los alumnos inviertan menos tiempo en el procesamiento de la información a la hora de leer cada pregunta, y, además, es probable que recuerden vagamente cuál fue su respuesta. Por otra parte, el hecho de conocer el tipo de preguntas que van a volver a realizar también puede influir en la seguridad y rapidez con la que los alumnos se enfrenten a la prueba.

No obstante, no se dejan de observar algunos valores positivos, de los cuales, algunos presentan un valor absoluto elevado. Esto indica que hubo una gran diferencia entre la duración de la prueba que realizaron antes de la navegación, y la que realizaron después, siendo la primera vez mucho menor que la segunda. Estas situaciones reflejan variabilidad individual en el rendimiento cognitivo, que puede verse influido por factores como:

- Fatiga
- Cansancio
- Particularidades de la salida a la mar

En conclusión, el conjunto de los resultados de las semanas con mediciones pareadas hace evidente que los tiempos de respuesta tienden a ser menores después de la navegación, aunque se dé una variabilidad apreciable en algunos alumnos.

Un detalle que se ha observado es que la magnitud de las diferencias observadas presenta ciertas variaciones entre diferentes semanas. En la semana 5, nadie tarda más tiempo en realizar la prueba después de la navegación que antes, sin embargo, en el resto sí se dan algunos de estos casos. También se puede observar que, en las primeras semanas, la diferencia entre ambas duraciones es menos que en la última. Esto sugiere que el efecto de la navegación sobre el rendimiento cognitivo no es siempre completamente uniforme, ni afecta de la misma manera a todos los participantes. El impacto de las salidas a la mar puede depender también de las condiciones específicas de la jornada, como son la meteorología y la exigencia de los ejercicios llevados a cabo

Se ha tenido a bien analizar los indicadores estadísticos (media, mediana, desviación típica y rango intercuartílico) de todas las observaciones (tanto pareadas del mismo alumno realizando ambas pruebas antes y después, como únicamente habiendo realizado una de ellas) a lo largo de las semanas de medición que duró el experimento.

	SEMANA 0		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
MEDIA	-	0:02:40	0:02:35	0:01:50	0:02:41	0:02:09	0:02:35	0:02:02	0:03:35	0:02:30
MEDIANA	-	0:02:37	0:02:34	0:01:41	0:02:37	0:01:59	0:02:35	0:02:00	0:03:31	0:02:23
DESVIACIÓN TÍPICA	-	0:00:38	0:00:43	0:00:31	0:00:45	0:00:36	0:00:38	0:00:34	0:00:54	0:00:46
RANGO INTERCUARTÍLICO	-	0:00:39	0:00:47	0:00:42	0:00:55	0:00:38	0:00:48	0:00:39	0:01:01	0:00:53

Tabla 4-3 Indicadores estadísticos de antes y después de la navegación de las semanas 0 a la 4

	SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8A		SEMANA 8B	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
MEDIA	0:04:28	0:02:15	0:03:40	-	-	0:03:23	0:03:37	0:02:08	-	0:03:02
MEDIANA	0:04:18	0:02:16	0:03:33	-	-	0:03:18	0:03:33	0:01:57	-	0:02:59
DESVIACIÓN TÍPICA	0:01:00	0:00:40	0:00:55	-	-	0:00:51	0:00:47	0:00:44	-	0:00:51
RANGO INTERCUARTÍLICO	0:01:10	0:00:43	0:01:09	-	-	0:00:53	0:01:01	0:00:37	-	0:00:56

Tabla 4-4 Indicadores estadísticos de antes y después de la navegación de las semanas 5 a la 8

Las tablas 4-3 y 4-4 recogen los datos descriptivos de los tiempos de respuesta registrados antes y después de la navegación, habiendo considerado todas las observaciones de cada una de las semanas que duró el experimento.

De forma general, los resultados siguen mostrando una clara diferencia entre ambas condiciones. Se da una diferencia entre medias y medianas entre ambas condiciones, respecto al momento en el que se realiza la prueba de casi un minuto, siendo mayores los tiempos de respuesta de las pruebas que se realizan antes de la navegación que después.

Este comportamiento se aprecia de forma contundente en las semanas 1,5 y 8 A. En estos periodos, los valores medios posteriores a la navegación son significativamente inferiores a los registrados antes de la salida a la mar, con diferencias de entre 45 segundos y 2 minutos y 15 segundos.

Salvo en las semanas 3 y 8 A, se observa una disminución de la dispersión de datos apreciable en los tiempos de respuesta de las pruebas posteriores a la navegación, tanto en lo que respecta a desviación típica como a rango intercuartílico (ambos con el mismo propósito, pero distintas aplicaciones). Esto se traduce en un mayor índice de la homogeneidad de los tiempos de respuesta después de la salida a la mar.

Este conjunto de resultados sugiere que la navegación como actividad puede llegar a tener un efecto positivo en el rendimiento cognitivo de los participantes, reduciendo tanto el tiempo necesario de los alumnos en completar la prueba, como la variabilidad entre individuos.

No obstante, es necesario señalar que existen algunas semanas (semanas 0, 6 y 7) en las que no fue posible realizar las pruebas ambas veces (antes y después de la navegación) por cuestiones operativas (se trataban de salidas nocturnas, pernoctas, o debriefings que se extendieron en exceso). Esto limita la posibilidad en dichos periodos de realizar una comparación entre los momentos de antes y después de la navegación, y con ello, establecer conclusiones globales.

Con el objetivo de visualizar de una forma más clara las diferencias entre condiciones a lo largo del experimento, en la Figura 4-4 se pueden observar las semanas donde fue posible analizar las pruebas de manera pareada (antes y después de la navegación), y las diferencias que se han descrito entre los distintos momentos de medición.

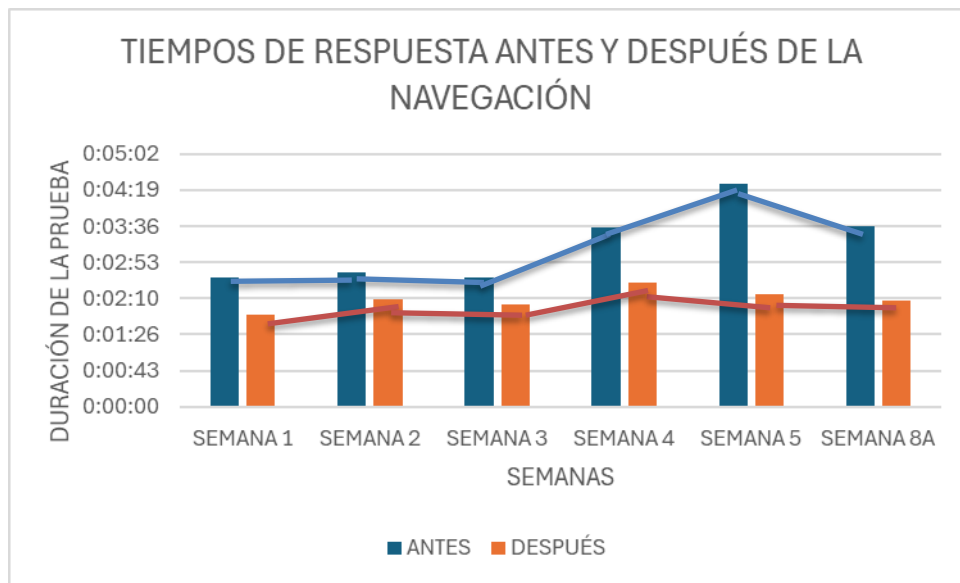


Figura 4-4 Medias de tiempos de respuesta antes y después de la navegación

Con el objetivo de analizar de forma conjunta la evolución de los tiempos de respuesta antes y después de la navegación, se ha representado gráficamente su media para cada semana del experimento en la Figura 4-4. Esta forma de ilustración permite visualizar de manera clara las diferencias entre ambas condiciones, además de su evolución y tendencia a lo largo del periodo de estudio.

En la figura 4-4 se observa lo que se viene describiendo a lo largo de este capítulo sobre la brecha entre la media de tiempos antes y después de la navegación. Lo que nos aporta esta gráfica es la observación de cómo se mantiene la tendencia consistentemente, sugiriendo una mejora en el rendimiento cognitivo tras la navegación.

Asimismo, se aprecia que la diferencia entre ambas condiciones respecto a la navegación es más acusada en las semanas intermedias del estudio. Estas semanas coinciden con los mismos periodos en los que se registraron mayores tiempos de respuesta en la prueba anterior a la navegación.

Esta métrica depende del orden de magnitud de los tiempos medidos, pero dado que las pruebas realizadas a lo largo del experimento no mantienen una dificultad constante y presentan variaciones en su duración, la comparación directa de los tiempos de respuesta en términos absolutos puede resultar limitada. En concreto, una misma diferencia temporal puede representar cambios relativos muy distintos dependiendo de la duración total de la prueba.

Por este motivo, se introduce una medida relativa basada en el porcentaje de variación del tiempo de respuesta, que permite normalizar las diferencias observadas y facilitar la comparación entre semanas bajo un criterio homogéneo.

Con el objetivo de mejorar el estudio comparativo de los resultados entre las semanas, se ha tenido a bien implementar un análisis de la diferencia absoluta de los tiempos de respuesta (Δt) con una medida que lo expresa en porcentaje ($\Delta t\%$).

Las pruebas realizadas a lo largo del experimento presentaron diferentes grados de su dificultad, y con ello, en su duración. La comparación directa entre tiempos absolutos puede llegar a introducir interpretaciones con carencias, ya que una misma tendencia temporal puede tener diferentes significados según la duración total de la prueba.

Por esto, se ha definido el porcentaje de variación de tiempo de respuesta como:

$$\Delta t = \frac{t_{después} - t_{antes}}{t_{antes}} * 100$$

Esta magnitud permite expresar el cambio temporal, en términos relativos respecto al valor del tiempo inicialmente, de tal forma que se facilita la comparación entre semanas con distintas características

Los valores negativos indican una reducción del tiempo de respuesta tras las actividades de navegación (con ello, mejora del rendimiento) , mientras que los positivos reflejan un incremento del tiempo empleado para realizar la prueba.

SEMANAS	$\Delta t\%$
SEMANA 1	-25,81%
SEMANA 2	-25,35%
SEMANA 3	-21,69%
SEMANA 4	-30,50%
SEMANA 5	-48,31%
SEMANA 8A	-45,01%

Tabla 4-5 $\Delta t\%$ durante el experimento

De este modo, el análisis en términos relativos complementa al análisis basado en diferencias absolutas (Δt), proporcionando una interpretación más robusta de la evolución del rendimiento.

En la tabla 4-5 se recogen los valores obtenidos de cada semana. En todas, la variación porcentual es negativa, al existir una tendencia sistemática de menores tiempos de respuesta después de la navegación que antes.

La magnitud de la mejora no es uniforme. En las primeras semanas las reducciones se encuentran entre el 20-30%, y en las semanas posteriores llegan a alcanzar un 45-50%. Este enfoque relativo ayuda a interpretar más precisamente los resultados, al eliminar el efecto que causa la variabilidad de dificultad entre pruebas. Se puede afirmar con mayor robustez la mejora observada en los tiempos de respuesta también es significativa desde un enfoque relativo.

El uso de métricas relativas es especialmente adecuado en estudios experimentales donde las condiciones de medida no son homogéneas, ya que permite comparar magnitudes de distinta escala bajo un mismo criterio de evaluación.

En conjunto, los resultados muestran una tendencia generalizada hacia tiempos de respuesta más rápidos y homogéneos después de la navegación, teniendo en cuenta que la comparación incluye tanto observaciones pareadas como independientes.

Como conclusión, los resultados obtenidos dan a entender que los tiempos de respuesta presentan tendencia a ser menores después de la navegación que antes de ella, tanto en lo que respecta el análisis global, como en el estudio de las observaciones pareadas. No obstante, la variabilidad que se ha observado entre el conjunto de alumnos, y entre diferentes semanas, pone de manifiesto que el rendimiento cognitivo puede verse influenciado por varios factores característicos del entorno operativo, lo que justifica el análisis posterior de los siguientes capítulos de variables como el sueño, el cansancio o el estado fisiológico de los participantes.

4.3 Distribución de tiempos por intervalos

Una vez estudiado el comportamiento general de los tiempos de respuesta mediante indicadores de tendencia central y dispersión mencionados en el anterior apartado, se procedió a indagar con más detalle la manera en la que se distribuyen las observaciones dentro del conjunto total de datos registrados durante el experimento.

Para ello, se realizó una agrupación los tiempos de respuesta por semanas, en franjas temporales de aproximadamente 15 segundos que tardaron los alumnos en completar la prueba. Este procedimiento ayuda a observar con más detalle los rangos de tiempo en los que se concentran la mayor parte de las observaciones, además del grado de dispersión que se da entre ellas. También es posible identificar las respuestas especialmente rápidas, o, por el contrario, demasiado lentas.

El análisis por intervalos de tiempo resulta especialmente útil en estudios dedicados a los tiempos de respuesta. Esto se debe a que enriquece la información que ya se ha obtenido mediante la media y la mediana. Estos indicadores describen el comportamiento de la tendencia central del conjunto de datos, pero la representación mediante histogramas permite la observación clara de la manera en la que se distribuyen los tiempos, como pueden ser las concentraciones de valores y desplazamientos entre condiciones experimentales.

Con la intención de evaluar la variación de la distribución de estos tiempos de respuesta según el momento de la medición, el tipo de representación gráfica que se escogió fueron los histogramas, con el número de alumnos por cada franja temporal de duración de la prueba, correspondientes a diferentes semanas de las que duró el experimento, haciendo una diferenciación entre antes y después de la navegación.

Dado que el número de gráficos resultantes es elevado, al haber analizado todas las semanas, y las distribuciones presentan rasgos muy similares entre ellas, se ha decidido seleccionar las semanas más representativas para ilustrar claramente los patrones significativos que se han identificado en el conjunto de datos.

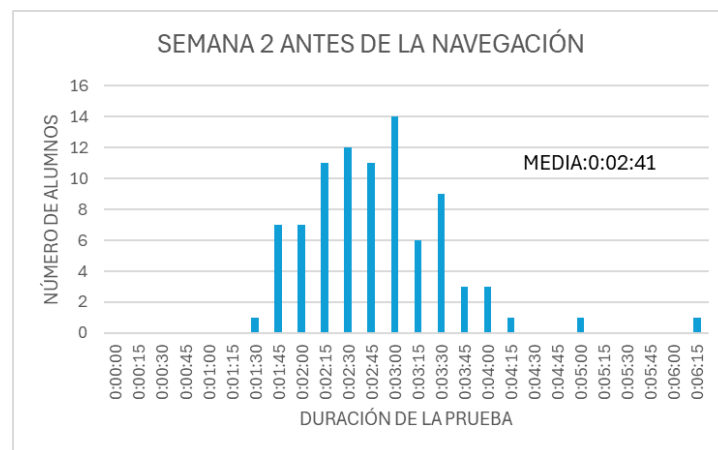


Figura 4-5 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 2 antes de la navegación

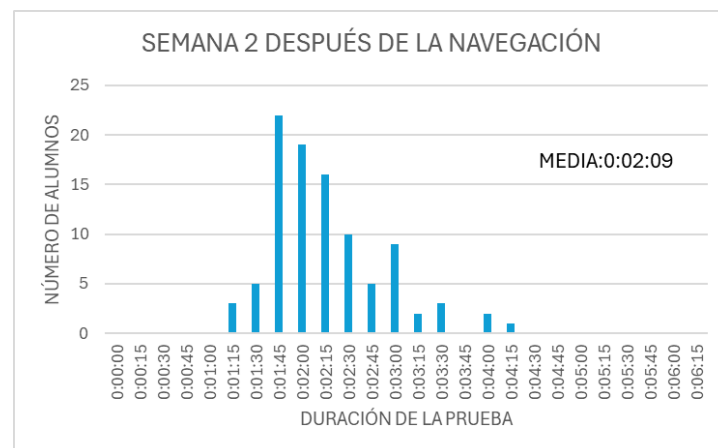


Figura 4-6 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 2 después de la navegación

En las figuras 4-5 y 4-6, se pudo observar que el 88% de los tiempos de respuesta se concentran entre los 01:45 y 03:00 minutos. Presentan un aumento progresivo hasta llegar al pico de observaciones, y proceden a otra disminución progresiva con el aumento de tiempos registrados. Se puede observar cómo se confirma respecto al capítulo anterior, que el grueso de las observaciones después de la navegación presenta duraciones menos elevadas en la realización de la prueba, en comparación a las pruebas realizadas antes de la navegación. Se aprecia la presencia en ambas gráficas de una asimetría poco pronunciada hacia valores más elevados, lo que significa la existencia de respuestas destacablemente lentas dentro del conjunto de observaciones en esta semana.

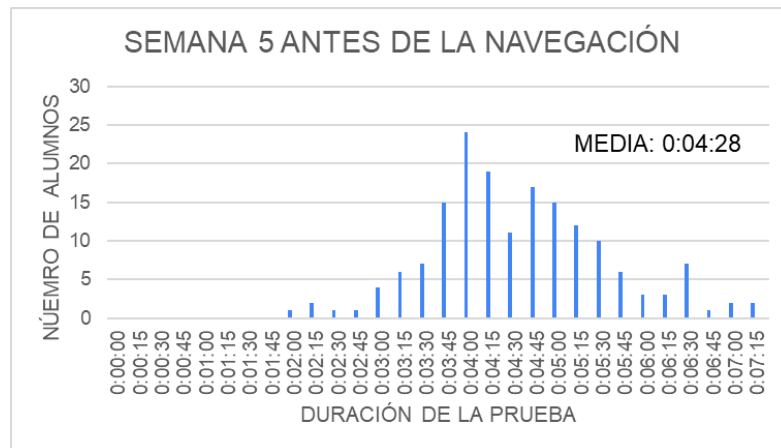


Figura 4-7 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 5 antes de la navegación

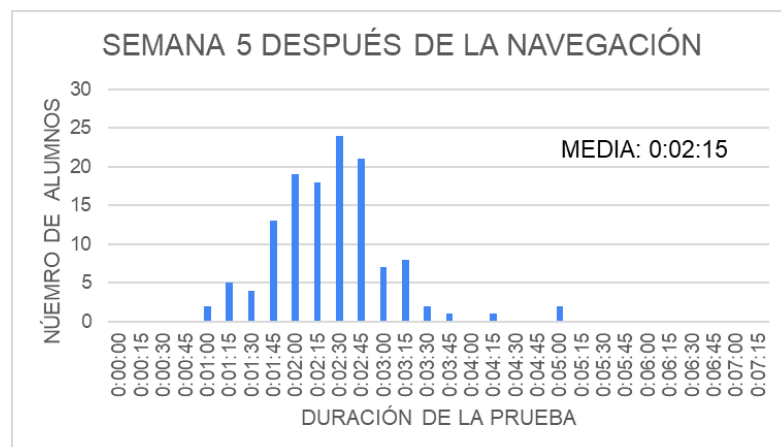


Figura 4-8 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 5 después de la navegación

En las figuras 4-7 y 4-8, a la hora de comparar las diferentes distribuciones antes de la navegación y después en esta quinta semana del experimento, se observa un ligero desplazamiento de la distribución de los tiempos de respuesta hacia marcas de menor duración una vez transcurrida la salida a la mar. Entorno al 93-94% de las observaciones se mueven entre los 3 y 6 minutos y medio antes de la navegación, y en el rango de 1 minuto y 15 segundos y 3 minutos y 15 segundos después de la navegación. Este comportamiento muestra cómo se vuelve a confirmar en términos generales lo demostrado en el capítulo anterior: los alumnos completaron la prueba en tiempo inferior después de haber realizado las actividades en las lanchas de instrucción.

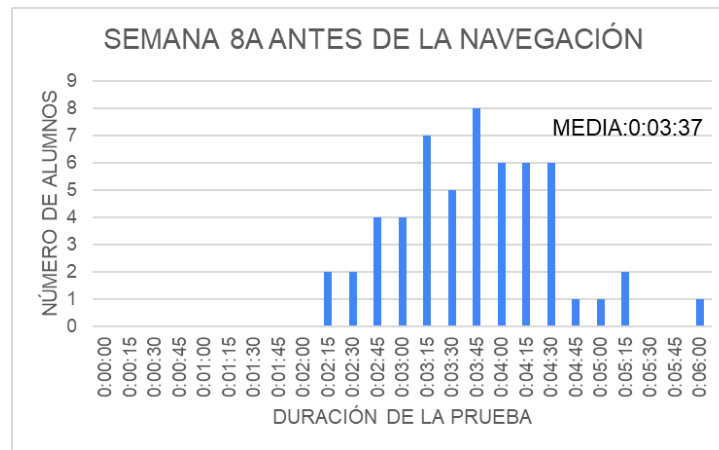


Figura 4-9 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 8 antes de la navegación

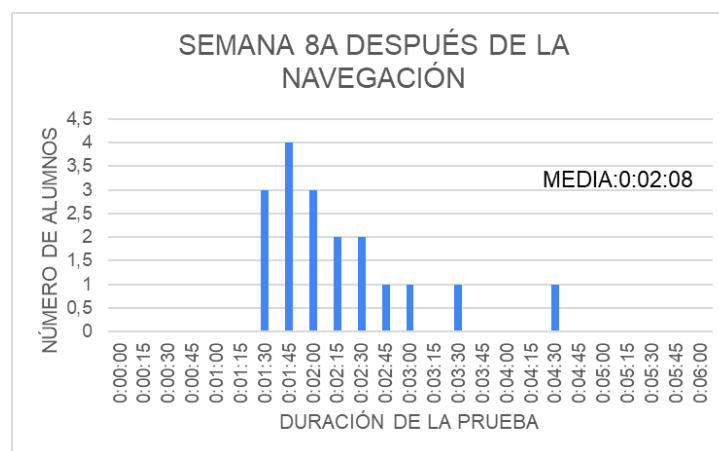


Figura 4-10 Distribución de los tiempos de respuesta por intervalos en la semana 8 después de la navegación

En las figuras 4-9 y 4-10 de la última semana a destacar, se observa de nuevo una concentración de la mayor parte de las observaciones entorno a los intervalos de tiempo centrales. En esta semana, se da cierta variabilidad en las formas de distribución, lo que puede significar la influencia de diferentes factores contextuales y fisiológicos que afecten al rendimiento cognitivo de los alumnos en la realización de las pruebas. Otra posibilidad es, como se puede observar en el número de alumnos, que la muestra cuenta con menos alumnos que las otras, pudiendo presentar rasgos de la forma de la distribución.

Desde un punto de vista global, el análisis de histogramas nos ayuda a observar cómo la mayor parte de los tiempos de respuesta se encuentran dentro de un rango relativamente reducido, mientras que las respuestas muy lentas se dan de forma menos frecuente. Al haber analizado varias semanas, somos capaces de identificar una tendencia hacia intervalos de tiempo ligeramente menores durante las pruebas realizadas posteriormente a la navegación. Esto es coherente respecto a los resultados que se obtuvieron en el primer capítulo del análisis descriptivo global.

Como conclusión, este análisis por intervalos aporta una visión más profunda y detallada del comportamiento de los tiempos de respuesta en las pruebas, pudiéndonos aportar algo más de información aparte de la que ya se obtuvo con los indicadores estadísticos tradicionales y la primera gráfica global.

4.4 Tiempos según número de fallos

Una vez se hubo procedido con el análisis del comportamiento de los tiempos de respuesta del conjunto completo de las mediciones antes y después de la navegación, y su comportamiento en distintos

intervalos, se continuó estudiando una posible relación entre los tiempos que les llevó a los alumnos completar la prueba, y el número de fallos que cometieron.

En este contexto, el número de fallos cometidos en la prueba se considera como un indicador de la precisión en lo que respecta la ejecución de la tarea, mientras que los tiempos de respuesta han sido un indicador para representar la rapidez con la que se completó la prueba. El análisis del conjunto de variables permite explorar posibles patrones entre ellas del comportamiento del rendimiento cognitivo en los participantes.

Para ellos, todas las observaciones fueron clasificadas en tres grupos en función del número de fallos registrados:

- 0 fallos
- 1 fallo
- 2 fallos

Este tipo de clasificación es útil para comparar el nivel de precisión con el que los alumnos realizaron la prueba, con la duración de los tiempos de respuesta. La finalidad de este análisis fue investigar si existían ciertas tendencias que relacionasen la velocidad a la que se terminaron de responder todas las preguntas de la prueba, con el número de errores cometidos.

En primer lugar, se separaron todas las observaciones en los tres grupos mencionados de errores. Se calcularon los tiempos de respuesta para cada uno de los conjuntos definidos. Estos valores permiten observar si los alumnos que cometieron menos errores tuvieron tendencia a dedicar más o menos tiempo a la realización de la prueba, en comparación con los alumnos que cometieron un mayor número de fallos.

Se realizó el cálculo de:

- ✓ Medias
- ✓ Desviaciones típicas

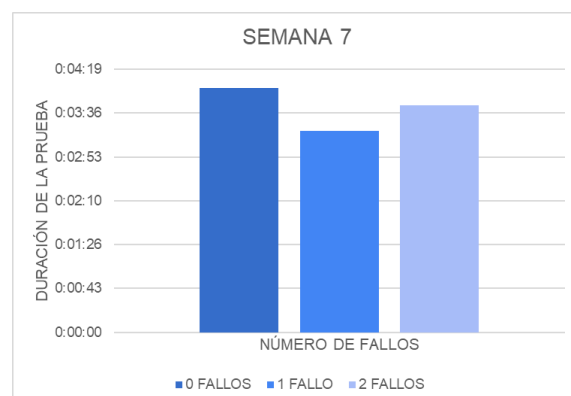
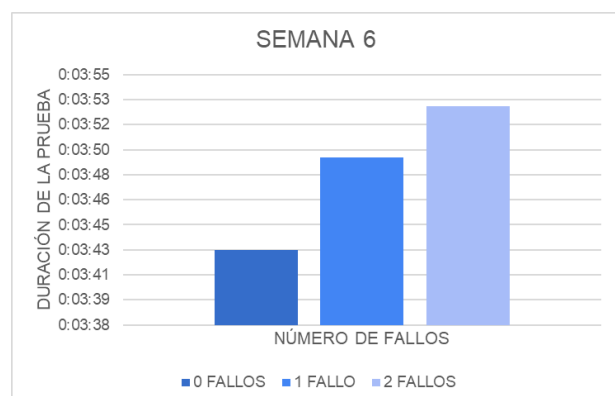
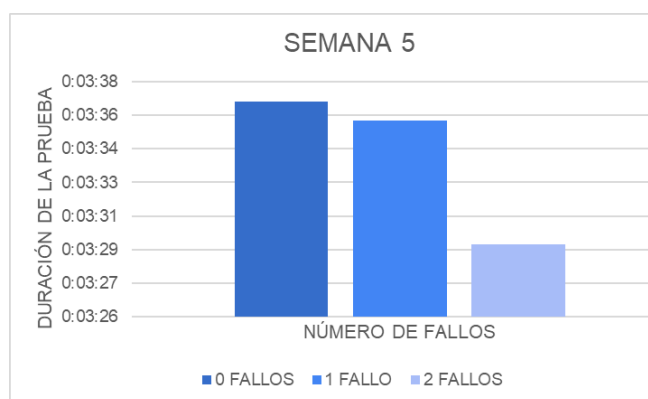
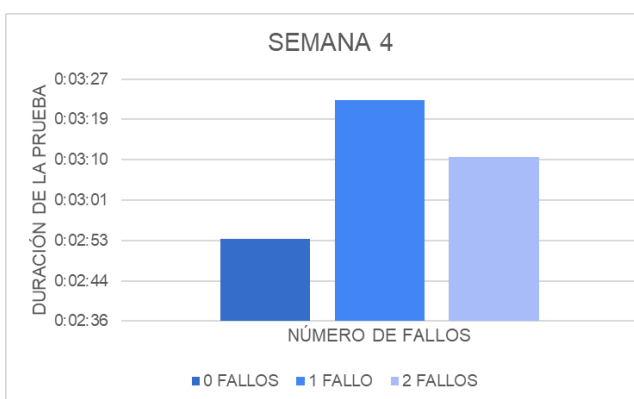
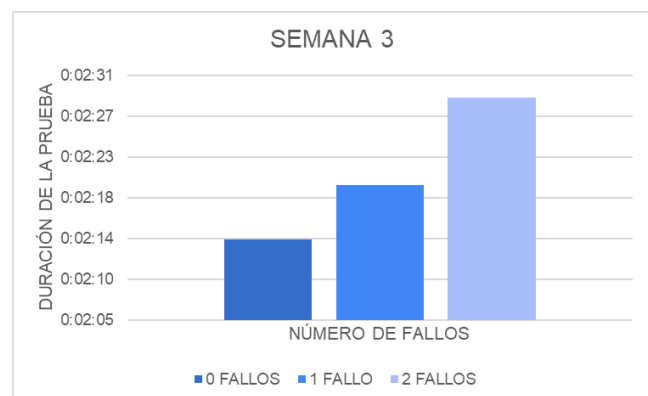
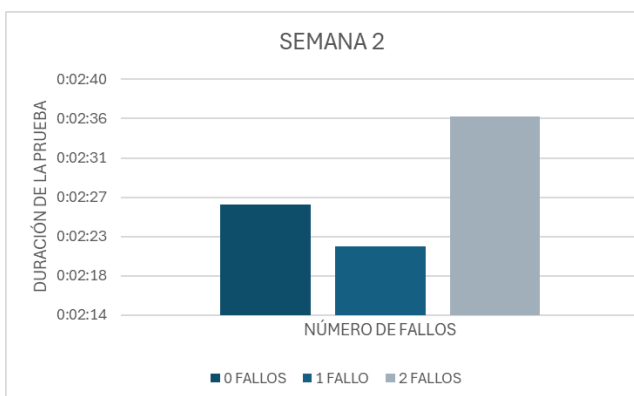
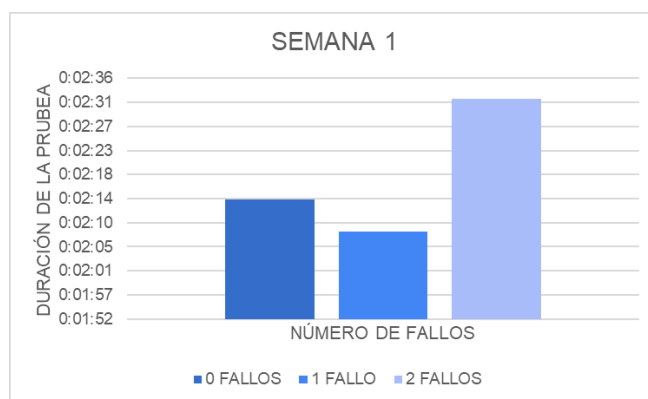
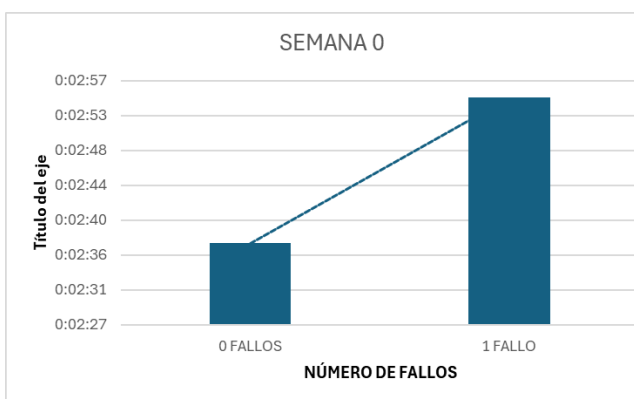
para cada uno de estos grupos en cada semana. Además, también se realizaron:

- ✓ representaciones gráficas

para poder visualizar claramente las diferencias entre los conjuntos de observaciones. Estas figuras facilitan mucho la comparación directa entre los tiempos de respuesta asociados a cada categoría de fallos.

Este análisis presenta especial relevancia cuando se le da un enfoque de un estudio de rendimiento cognitivo. El motivo es porque al estar analizando tareas cognitivas complejas, hay una relación conocida como compromiso entre velocidad y precisión (*speed-accuracy trade-off* [3]). Este principio explica que el responder de una manera más rápida, en muchas ocasiones, va ligado con cometer un mayor número de fallos, ya que se toma menos tiempo en procesar la información, y esto se deriva en una menor precisión en las respuestas.

En el contexto de este estudio, el análisis de los tiempos de respuesta según el número de fallos permite comprobar si este patrón también se observa en los alumnos durante la realización de las pruebas antes y después de las salidas en Lanchas de Instrucción.



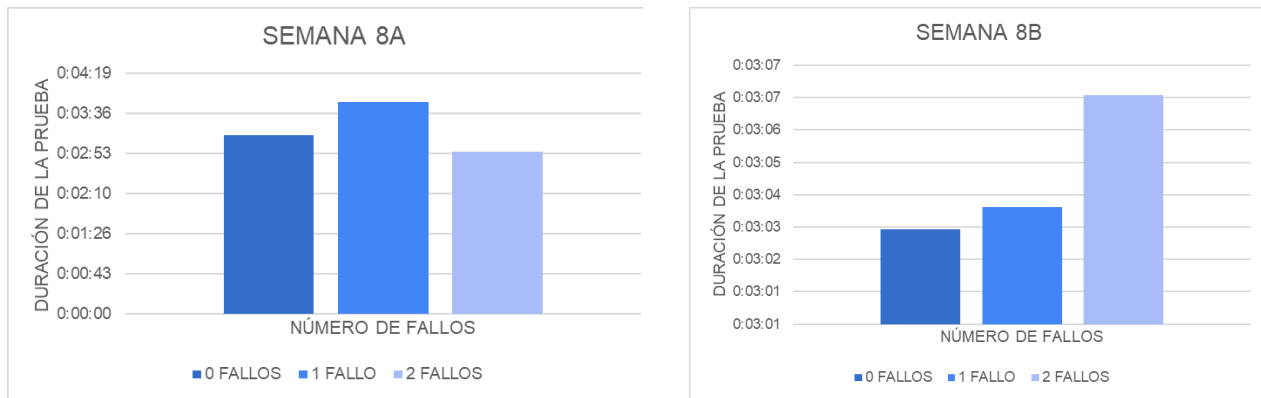


Figura 4-11 Tiempos de respuesta según el número de fallos por semanas

La figura 4-11 es el conjunto de gráficos de todas las semanas que muestra la variación en el tiempo medio de realización de las pruebas en función del número de fallos que se cometieron. Esta representación nos ayuda a analizar la relación existente entre rapidez de ejecución y precisión, fenómeno ampliamente estudiado, conocido como compromiso velocidad-precisión (*speed-accuracy trade-off* [3]). Este término explica que las respuestas rápidas se asocian a una mayor probabilidad de cometer errores, mientras que dedicar más tiempo al procesamiento de la información tiende a aumentar la precisión de las respuestas. Sin embargo, observamos resultados que no se terminan de corresponder con lo que defiende el compromiso velocidad-precisión.

De manera general, se observa una tendencia clara en la que a mayor número de fallos se cometen en la prueba a realizar por los alumnos, mayores tiempos de respuesta se registran por su parte. Este comportamiento se aprecia en especial en varias semanas analizadas (semanas 0, 3, 6, 8B), donde los participantes que cometen más errores toman más tiempo para rellenar la prueba.

En las semanas 1, 2 y 4, la columna de alumnos que cometen 1 fallo rompe esta relación, que sí que logra mantenerse entre los 0 y 2 fallos registrados por prueba.

En la semana 5 se observa el comportamiento contrario al resto de periodos, y en la 7 y 8 A los rendimientos son más bien poco reveladores.

Este resultado es coherente con la interpretación de que un mayor tiempo de respuesta puede estar ligado a una mayor dificultad en la resolución de la tarea, o un menos rendimiento cognitivo del alumno.

No obstante, esta tendencia no se cumple de forma estricta en todas las semanas del experimento. En ocasiones, se observan algunos casos donde la relación entre tiempos de respuesta registrados y número de fallos cometidos ni si quiera muestra ningún tipo de patrón. Estas desviaciones pueden ser fruto de la variabilidad de los propios datos, o del limitado número de observaciones en determinados periodos.

En conjunto, los resultados sí sugieren la existencia de una relación entre el tiempo de respuesta y el número de errores, aunque sea una interpretación para realizarse con cautela debido a las limitaciones del conjunto de datos

Existe un término que se asocia a la conclusión de que la precisión y la rapidez vayan de la mano. Este se denomina *speed-accuracy couplig* [3], y defiende que los alumnos con mejor rendimiento cognitivo son capaces de procesar la información con mayor rapidez y precisión simultáneamente. En lugar de apreciarse compromiso entre la velocidad y precisión, los resultados manifiestan diferencias en el nivel general del rendimiento de los participantes: los alumnos que cuentan con más capacidad de atención (o familiaridad con la prueba), la resuelven más rápidamente y con menos errores.

Por el contrario, los alumnos que cuentan con una mayor media en los tiempos de respuesta pueden estar experimentando mayor dificultad a la hora de procesar la información, lo que se manifiesta en una mayor duración en completar la prueba.

En consecuencia, la rapidez en este caso no se relaciona con un aumento de errores, sino en formar parte de un rendimiento cognitivo general más eficiente. Esto se traduce en que los mejores sujetos son aquellos que son más rápidos y también más precisos.

Este resultado no indica necesariamente que responder rápidamente involucre más precisión, sino que puede ser que refleje diferencias a nivel global en el rendimiento de los participantes. Los alumnos con más capacidad de procesamiento, o más familiaridad con las pruebas realizan la prueba a más velocidad mientras que cometen menos errores. Otra posible causa es que los alumnos que no sabían la respuesta tomaron más tiempo, y aun así cometieron errores.

	SEMANA 0			SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4		
	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS
MEDIA	0:02:37	0:02:55	-	0:02:13	0:02:23	0:02:24	0:02:26	0:02:21	0:02:35	0:02:13	0:02:19	0:02:28	0:02:53	0:03:22	0:03:10
MEDIANA	0:02:35	0:02:59	-	0:02:10	0:02:31	0:02:20	0:02:17	0:02:16	0:02:22	0:02:05	0:02:05	0:02:22	0:02:58	0:03:20	0:03:03
DESVIACIÓN TÍPICA	0:00:38	0:00:27	-	0:00:45	0:00:44	0:00:50	0:00:48	0:00:35	0:00:57	0:00:34	0:00:34	0:00:39	0:00:53	0:00:53	0:00:58
RANGO INTERCUARTÍLICO	0:00:40	0:00:18	-	0:01:03	0:00:57	0:01:04	0:01:00	0:00:50	0:01:08	0:00:47	0:00:47	0:00:35	0:01:20	0:01:27	0:01:04
NÚMERO DE OBSERVACIONES	74	5	0	214	40	20	84	43	12	83	89	53	70	65	49

Tabla 4-6 Resumen estadístico de los tiempos de respuesta según número de fallos de las semanas 0 a la 4

	SEMANA 5			SEMANA 6			SEMANA 7			SEMANA 8A			SEMANA 8B		
	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS	0 FALLOS	1 FALLO	2 FALLOS
MEDIA	0:03:36	0:03:35	0:03:29	0:03:42	0:03:49	0:03:52	0:04:00	0:03:18	0:03:43	0:03:12	0:03:48	0:02:54	0:03:03	0:03:03	0:03:06
MEDIANA	0:03:32	0:03:36	0:03:41	0:03:33	0:03:30	0:04:00	0:03:42	0:03:09	0:03:27	0:03:09	0:03:48	0:02:57	0:02:45	0:02:59	0:02:58
DESVIACIÓN TÍPICA	0:01:25	0:01:17	0:01:23	0:00:49	0:01:14	0:00:36	0:00:55	0:00:50	0:01:32	0:00:44	0:00:49	0:00:58	0:01:04	0:00:54	0:00:41
RANGO INTERCUARTÍLICO	0:02:21	0:02:09	0:02:10	0:01:13	0:01:08	0:00:37	0:01:08	0:00:56	0:00:55	0:01:00	0:01:04	0:01:21	0:00:53	0:01:20	0:00:21
NÚMERO DE OBSERVACIONES	110	67	60	65	37	15	14	31	18	21	21	19	19	21	22

Figura 4-7 Resumen estadístico de los tiempos de respuesta según número de fallos de las semanas 5 a la 8B

Las tablas 4-6 y 4-7 recogen los indicadores estadísticos de los tiempos de respuesta en función del número de fallos cometido, dividido entre las semanas del experimento. Estos resultados permiten estudiar con más detalle lo que ya se ha visto reflejado en las gráficas respecto a la relación entre rapidez y precisión.

Como ya se había mencionado anteriormente explicado con el término *speed-accuracy coupling* [3] (subrayado de color rosa en las tablas donde destaca de manera clara) se observa un incremento de los tiempos de respuesta junto a un mayor número de fallos. El patrón se mantiene en la mayoría de las semanas analizadas, lo que sugiere una relación consistente entre ambas variables en la realización de la prueba.

Este comportamiento se ve reforzado con el análisis de la mediana, que mantiene la misma tendencia que la media. Esto también significa que el patrón que se observa no se ve condicionado por los valores extremos, sino que forma parte de la estructura característica del conjunto de datos.

En lo que respecta a la dispersión, la desviación típica tiende a incrementarse con el grupo de mayor número de errores (2 fallos), lo que indica una mayor variabilidad en el rendimiento cognitivo de los alumnos que presentaron menor precisión en la realización de la prueba. Este aumento de variabilidad también sugiere la convivencia de distintos perfiles de rendimiento dentro del grupo de 2 fallos registrados, con respuestas tanto moderadas como especialmente lentas.

No obstante, este patrón no se cumple de forma uniforme en todo el conjunto de semanas que dura el experimento. En algunas de ellas, se observan desviaciones puntuales en la relación de tiempos de respuesta y número de fallos, que puede estar asociado a diferencias en la dificultad de las pruebas o tamaño muestral disponible en cada periodo.

En conclusión, los resultados de ambas tablas muestran que, en este experimento llevado a cabo, un mayor número de errores no se asocia a respuestas más rápidas, sino a que sean más lentas y presenten más variabilidad entre ellas, lo que apunta a un nivel global de rendimiento cognitivo menor por lo general.

En consecuencia, estos resultados indican que la muestra analizada no presenta el clásico compromiso entre velocidad y precisión, sino más bien un patrón en el que los participantes con mejor rendimiento cognitivo además de ser capaces en responder a las preguntas con más precisión, también lo hacen de forma más rápida. Esto guarda relación con el término ya mencionado *speed-accuracy coupling* [3]. Los resultados refuerzan la idea de que el tiempo de respuesta constituye un indicador útil del rendimiento cognitivo durante la realización de pruebas.

4.5 Influencia de las variables fisiológicas

Además de los factores operativos que involucran las salidas a la mar, se dan factores relacionados con el estado fisiológico de los alumnos, que influyen en su rendimiento cognitivo durante la realización de las pruebas. Estos aspectos que autorreportaron ellos mismos, pueden haber sido resultado de la jornada de navegación, o venir implícitos por su estado funcional, en parte dependiendo del momento de la medición. Con el objetivo de estudiar su influencia, en la prueba se pidió a los alumnos que puntuasen en una escala su estado respecto a las variables subjetivas.

Entre estas variables fisiológicas escogidas, se incluyen indicadores relacionados con el descanso de la noche anterior, nivel de cansancio percibido, grado de ansiedad o tensión experimentada, y posible presencia de malestar físico tras la navegación (como mareo y náuseas). Estos estados subjetivos se registran tanto antes como después de la navegación.

Las variables permiten acercarse al estado fisiológico de los participantes, o a la sensación que estos tenían, en el instante en el que se estaba realizando la prueba. También son capaces de contribuir a la explicación de la variabilidad dada en los tiempos de respuesta y el número de fallos.

Para analizar la relación entre estas variables y el rendimiento en la prueba, se procedió a calcular coeficientes de relación entre las variables dependientes (tiempos de respuesta y número de fallos), y subjetivas.

4.5.1 Correlación entre las variables fisiológicas y el rendimiento

En primer lugar, se realizó un cálculo de correlación de Pearson teniendo en cuenta todo el conjunto completo de observaciones disponibles, con el objetivo de identificar posibles relaciones generales entre las variables fisiológicas registradas y el rendimiento cognitivo de los alumnos que participaron.

Las variables analizadas fueron:

- Puntuación del sueño: obtenida a través de relojes proporcionados a los alumnos que participaron en el experimento.
- Malestar/mareo/nauseas: síntomas asociados al mareo o incomodidad física a raíz de la jornada
- Ansiedad/agobio/tensión
- Cansancio/somnolencia/fatiga

A partir de estos datos, se calcularon los coeficientes de relación entre cada una de las variables y los tiempos de respuesta, más el número de fallos cometidos en la prueba.

				r	Interpretación directamente proporcional	r	Interpretación inversamente proporcional
		MEDIA		0		0	
		CORRELACIÓN TIEMPOS DE RESPUESTA	CORRELACIÓN NÚMERO FALLOS	0.1 – 0.2	relación muy débil	[-0.1 – 0.2]	relación muy débil
VARIABLES FISIOLÓGICAS	PUNTUACIÓN DEL SUEÑO	-0,048076855	-0,158215552	0.2 – 0.4	relación débil	[-0.2 – 0.4]	relación débil
	MALESTAR/ MAREO/ NÁUSEAS	0,042388404	0,138824144	0.4 – 0.6	relación moderada	[-0.4 – 0.6]	relación moderada
	ANSIEDAD/ AGOBIO/ TENSIÓN	0,07073763	0,106772011	0.6 – 0.8	relación fuerte	[-0.6 – 0.8]	relación fuerte
	CANSANCIO/ SOMNOLENCIA/ FATIGA	0,069076533	0,027112834	0.8 – 1	relación muy fuerte	[0.8 – 1]	relación muy fuerte

Tabla 4-8 Coeficientes e correlación entre variables fisiológicas y rendimiento cognitivo

La tabla 4-8 muestra la media obtenida de los coeficientes de correlación calculados entre las variables fisiológicas de todas las semanas que se registraron durante el experimento, y las dos variables principales que representan el rendimiento cognitivo: el tiempo de respuesta y el número de fallos cometidos durante las pruebas.

Por lo general, los valores obtenidos muestran correlaciones con magnitudes muy bajas, siendo todas las medias menores a un valor de 0,2. Según los criterios de interpretación empleados para el Coeficiente de Pearson, las relaciones entre las variables subjetivas descritas y las principales son muy débiles o prácticamente inexistentes.

Este resultado sugiere que las variables fisiológicas analizadas no explican de forma concluyente las diferencias observadas en el rendimiento cognitivo de los alumnos.

Entre las variables que se han considerado, algunas medias presentan una correlación muy débil con el número de fallos cometidos en la prueba. Estas son:

- Puntuación del sueño
- Malestar/ mareo/ náuseas
- Ansiedad/ agobio tensión

La media de las correlaciones del cansancio/ somnolencia/ fatiga muestra que no hay ninguna correlación con los tiempos de respuesta o el número de fallos. Y las variables enumeradas tampoco muestran ninguna correlación con los tiempos de respuesta.

Cabe mencionar que, a lo largo de todo el experimento, sí se han dado semanas en las que la correlación entre las variables principales y las variables subjetivas ha pasado de ser:

muy débil → débil

E incluso:

muy débil → moderada

muy débil → fuerte

Y en todas se debe respecto a la variable subjetiva de la puntuación del sueño. En ocasiones directamente proporcional, y en otras de manera inversa, y también de forma simultánea entre antes de la navegación y después de esta.

Se decidió investigar acerca de la meteorología durante esas semanas con el fin de poder extraer conclusiones más detalladas. Se analizó principalmente la temperatura, viento y lluvia, que son los factores que mayor impacto presentan sobre los alumnos cuando salen a la mar:

VARIABLE SUBJETIVA	SEMANA	VARIABLE INDEPENDIENTE	CORRELACIÓN (r)	TIPO CORRELACIÓN	MOMENTO	METEO
PUNTUACIÓN DEL SUEÑO	0	T RESPUESTA	0,47162231	DIRECTA	DESPUÉS	22°C, 16 kts, 0 m
	2	T RESPUESTA	0,413356759	DIRECTA	ANTES	22°, 14 kts, 7mm
	3	Nº FALLOS	-0,425772016	INVERSA	ANTES	25°C, 10 kts, 0mm
	4	Nº FALLOS	-0,628673214	INVERSA	DESPUÉS	17°C, 19 kts, 7mm
	5	T RESPUESTA	-0,40007569	INVERSA	DESPUÉS	13°C, 17 Kts, 7mm
	8A	Nº FALLOS	-0,517703409	INVERSA	ANTES	7°C, 9 kts, 7mm

Tabla 4-9 Resumen de semanas con correlaciones destacadas entre tiempo de respuesta, número de fallos y condiciones meteorológicas respecto a la puntuación del sueño.

Realmente, la intención de tener la meteorología en cuenta es para destacar las semanas en las que la prueba se realiza después de la navegación, puesto que antes los alumnos no tendrían motivos para presentar efectos de la climatología, pero sí una vez se hubiese estado expuestos durante la salida a la mar.

➤ Semana 0:

En esta semana se aprecia una correlación directa entre la puntuación del sueño y los tiempos de respuesta después de la navegación. Se aprecia que las condiciones meteorológicas son buenas, pero con viento.

La posible explicación a este resultado es que los alumnos presentan menos adaptación al entorno marítimo las primeras semanas.

➤ Semana 2:

En esta semana se vuelve a dar el mismo tipo de correlación (directa entre puntuación del sueño y tiempos de respuesta). Sin embargo, la prueba se realiza antes de la navegación. Durante la salida se da algo de lluvia, y unas condiciones del viento similares a la semana anterior.

➤ Semana 3:

En la tercera semana empieza a destacar la correlación de tipo inversa entre la puntuación del sueño y el número de fallos antes de la navegación.

➤ Semana 4:

En la cuarta semana se da el mismo tipo de correlación (inversa) entre puntuación del sueño y número de fallos, pero esta vez después de la navegación.

Se observa que las condiciones meteorológicas presentan algo de lluvia y un viento más fuerte que otras semanas, así que podría interpretarse como un agravante.

➤ Semana 5:

En esta semana nos centramos en los tiempos de respuesta respecto a la puntuación del sueño, siendo esta vez una correlación de tipo inversa (mayor descanso asociado a menores tiempos de respuesta, y tiempos de respuesta más elevados si la calidad y cantidad del sueño ha sido peor).

El momento de la realización de la prueba es después de la navegación, y se observan condiciones meteorológicas más adversas que las semanas anteriores, por lo que podría volver a simular un agravante para la correlación.

➤ Semana 8 A:

La correlación entre la puntuación del sueño y número de fallos vuelve a ser de tipo inversa, independientemente de las condiciones meteorológicas, puesto que la prueba se lleva a cabo antes de la salida a la mar.

Como resultado general, lo que resulta más evidente es que lo que más debería llamar la atención es la correlación indirecta entre el número de fallos y la puntuación del sueño:

- Menor puntuación del sueño conlleva un mayor número de fallos
- Mejor puntuación de sueño conlleva un menor número de fallos

Esto ocurre tanto antes como después de la navegación. Es decir, un sueño de mala o buena calidad afecta en lo que respecta la precisión (número de fallos) a lo largo de todo el día siguiente.

En dos de las semanas analizadas, se ha considerado la posibilidad de que una meteorología adversa pudiese resultar más perjudicial en la precisión durante la prueba, que unas buenas condiciones climatológicas el día que se sale a navegar.

En conclusión, estos resultados indican que teniendo en cuenta todo el conjunto de semanas, el rendimiento fisiológico de los participantes podría influir en cierto modo en su grado de rendimiento durante la realización de la prueba. Sin embargo, su efecto no resulta manifestarse suficientemente fuerte como para justificar que las variaciones observadas en los tiempos de respuesta y número de fallos se deban a dichas variables subjetivas.

Lo que nos sugieren estos resultados, es que el rendimiento cognitivo referente a tiempos de respuesta y número de fallos, en el contexto del experimento, puede estar relacionado con múltiples factores más allá de los fisiológicos, como son los operativos y contextuales (navegación, fatiga acumulada, condiciones de trabajo...)

Desde un punto de vista general, el análisis de las correlaciones con Coeficientes de Pearson entre las variables principales de este experimento (tiempos de respuesta y número de fallos) respecto a las variables subjetivas registradas por los alumnos que describían su estado fisiológico, ha mostrado que realmente, no existe un patrón consistente entre ambos datos. Los coeficientes que se obtuvieron muestran valores tanto positivos como negativos, y ninguno de ellos se mueve entre las magnitudes $r=[0,8-1]$ (grado indicativo de que la relación es muy fuerte), de hecho, casi todas son débiles o muy débiles, incluso inexistentes.

La ausencia de este patrón podría verse explicada de varias formas. De primera mano, tres de las cuatro variables fisiológicas que han sido analizadas presentan un carácter subjetivo, ya que dependen de la propia percepción individual de los alumnos al registrarla, en aspectos generales como son el cansancio, estrés y malestar físico.

Por otro lado, el tamaño de la muestra disponible para cada semana, aunque pareciese grande durante el proceso de depuración de datos, realmente es limitado. Esto hace que la identificación de relaciones estadísticas más claras pueda ser dificultoso.

Desde otra perspectiva, es posible que el rendimiento cognitivo analizado durante las pruebas, realmente se vea influenciado por múltiples factores, combinados o más allá de los estudiados en el experimento. Se ha pretendido tener en cuenta los más generales y los que más se han analizado hasta ahora en la literatura científica existente, pero es un tema complejo en el que se puede profundizar mucho. Estos factores podrían ser perfectamente, por las características contextuales de las salidas a la mar en lanchas de instrucción, variables de tipo operativas propios del entorno marítimo, y las condiciones de la jornada de la navegación (ambientales, grado de adaptación de los alumnos a las actividades en la mar, nervios en la salida, mejor o peor moral al acabar los ejercicios...) que podrían estudiarse en una segunda investigación.

En consecuencia, los resultados obtenidos sugieren que ninguna de las variables fisiológicas que se han considerado explican por sí solas las variaciones observadas tanto en los tiempos de respuesta, como en el número de fallos registrados.

Al fin y al cabo, los alumnos que han participado en este experimento son jóvenes y han desarrollado habilidades para adaptarse a nuevos entornos. Además de tener edades que rondan los 18-23 años, están recibiendo una formación que tiene como objetivo hacerles resistentes frente a las adversidades operativas.

En el ámbito del entrenamiento militar y del rendimiento humano, se ha indagado sobre la idea de que la percepción del agotamiento no siempre refleja el estado real de las capacidades físicas o cognitivas. En este contexto, algunos programas más extremos de entrenamiento [11] sostienen que cuando una persona percibe estar alcanzando el umbral de su rendimiento máximo, el individuo todavía puede disponer de una parte significativa de todo su potencial.

Este principio se hace llamar la “Regla del 40%”. Sugiere que cuando se está alcanzando la sensación subjetiva del límite físico o cognitivo del agotamiento, todavía se está a un 40% de la verdadera capacidad potencial que posee la persona.

Aunque esta idea procede principalmente de un ámbito de entrenamiento militar especial, en el que se han llevado a cabo estudios experimentados controlados, resulta interesante mencionarlo en el contexto presente de este trabajo, ya que refuerza la hipótesis de que las percepciones subjetivas de cansancio, fatiga, estrés o malestar son como sus propios nombres indican, relativas y parciales a su verdadero estado fisiológico el individuo. Estas sensaciones personales no siempre se traducen directamente en una disminución proporcional del rendimiento cognitivo de los alumnos durante la realización de las pruebas.

En conjunto, el análisis llevado a cabo en este capítulo permite concluir una visión global del comportamiento de los tiempos de respuesta y número de fallos registrados durante el experimento, y su relación con las diferentes variables fisiológicas. Los resultados muestran que, aunque se observen puntualmente ciertas tendencias concretas, la mayoría de las relaciones identificadas cuentan con magnitudes reducidas. Esto sugiere que el rendimiento cognitivo de los participantes está condicionado por la interacción de múltiples factores que actúan de manera simultánea.

En el siguiente capítulo, se analizarán posibles diferencias respecto al rendimiento cognitivo influenciado por las variables subjetivas, entre las distintas brigadas que han participado en este experimento.

4.6 Comparación entre brigadas

Con el objetivo de estudiar posibles diferencias en el rendimiento cognitivo de los alumnos entre los distintos grupos que participaron en el experimento, se realizó una comparación entre brigadas de los resultados obtenidos.

En el estudio participaron distintos alumnos pertenecientes a las brigadas de primer, segundo y cuarto curso, con una proporción muy baja de alumnos de quinto curso (alféreces de fragata que entran con titulación previa y en su último año participan en las salidas a la mar en las lanchas de instrucción). Por este motivo, el análisis se centrará en las tres primeras brigadas, no dejando de estudiar a la quinta brigada cuando haya referencias, ya que no deja de ser un grupo cuyo estudio es interesante por su distinta experiencia en el paso por la escuela.

Para llevar a cabo la comparación descrita, se analizaron las principales variables del rendimiento que se han tenido en cuenta a lo largo del estudio, incluyendo tanto los tiempos de respuesta empleados para llevar a cabo la prueba, como el número de fallos que se cometieron durante su realización.

Para realizar un análisis general, fue necesario construir una tabla de todas las semanas. Esta incluía todas las medias y desviaciones típicas de los tiempos de respuesta y recuento de fallos cometidos por prueba.

SEMANA	BRIGADA	MOMENTO	TIEMPO DE RESPUESTA		NÚMERO DE FALLOS	
			MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
0	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:46	0:00:39	0,121212121	0,545296694
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:56	0:01:53	0,260869565	0,540823556
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:35	0:00:23	0,047619048	0,21821789
1	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:36	0:00:38	0,125	0,333333333
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:48	0:00:27	0,142857143	0,352453688
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:34	0:00:41	0,2	0,441809003
2	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:00	0:00:36	0,405405405	0,687681906
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:03	0:00:51	0	0
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:46	0:01:08	0	0
3	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:43	0:00:39	0,59375	0,945596756
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:11	0:00:38	0,775	1,367901256
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:03:03	0:00:53	0,411764706	0,618346942
4	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:33	0:00:40	0,523809524	0,679635757
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:53	0:00:46	0,428571429	0,513552591
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:59	0:00:19	0,75	1,290994449
5	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:55	0:00:26	0,5	0,707106781
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:33	0:00:05	0,5	0,707106781
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:33	0:00:40	1,230769231	1,214542351
6	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:09	0:00:29	1,066666667	1,175507627
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:46	0:00:39	1,069767442	0,985498395
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:55	0:00:34	1,028571429	1,175377644
7	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:30	0:00:31	0,923076923	1,03579655
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:01	0:00:40	0,964285714	1,574851971
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:47	0:00:15	0,5	0,707106781
8	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:44	0:00:00	1	0
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:03:30	0:00:47	1,14	1,261841867
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:39	0:00:54	1,285714286	1,171355163
9	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:03:51	0:00:53	1,279069767	1,578510169
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:42	0:00:41	1,324324324	1,564431989
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:03:27	0:00:52	1,125	2,028029395
10	1º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:24	0:00:46	1,208333333	2,395270098
	2º	ANTES				
		DESPUÉS	0:02:58	0:01:57	1	1,414213562
	4º	ANTES				
		DESPUÉS	0:01:38	0:00:37	1	1,414213562

Tabla 4-10 Medias y desviaciones por brigada y semana

SEMANA	BRIGADA	MOMENTO	TIEMPO DE RESPUESTA		NÚMERO DE FALLOS	
			MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
1	1º	ANTES	0:04:21	0:01:00	1,343283582	1,225390956
		DESPUÉS	0:02:44	0:00:59	1,375	1,694997308
	2º	ANTES	0:04:47	0:00:56	0,98245614	1,125852504
		DESPUÉS	0:02:10	0:00:44	1,139534884	1,24590228
	4º	ANTES	0:04:19	0:00:57	1,119047619	1,063871919
2	1º	ANTES	0:02:12	0:00:46	1,382352941	1,255646782
		DESPUÉS	0:02:47	0:00:31	2	3,464101615
	2º	ANTES	0:03:21	0:00:14	0	0
		DESPUÉS	0:03:27	0:00:47	0,783333333	1,090664028
	4º	ANTES	0:03:58	0:01:03	0,666666667	0,929320377
3	1º	ANTES	0:03:20	0:00:50	1,111111111	1,652319197
		DESPUÉS	0:04:00	0:00:00	2	0
	2º	ANTES	0:04:04	0:00:00	2	0
		DESPUÉS	0:03:42	0:01:17	1,742857143	1,379319038
	4º	ANTES	0:03:24	0:00:54	1,583333333	1,348643978
4	1º	ANTES	0:03:13	0:00:47	2,142857143	1,64911392
		DESPUÉS	0:02:42	0:00:00	1	0
	2º	ANTES	0:03:27	0:00:39	0,966666667	1,033351872
		DESPUÉS	0:02:30	0:00:50	1,333333333	0,707106781
	4º	ANTES	0:03:57	0:00:51	1,315789474	1,002919714
5	1º	ANTES	0:02:02	0:00:35	1,25	0,88640526
		DESPUÉS	0:03:30	0:00:55	1	0
	2º	ANTES	0:02:50	0:01:04	1,8	1,373213125
		DESPUÉS	0:02:49	0:00:00	1	0
	4º	ANTES	0:03:14	0:00:54	1,68	1,31402689
6	1º	ANTES	0:02:56	0:00:58	1,04	1,059874206
		DESPUÉS	0:02:58	0:00:38	1,6	1,391704748
	2º	ANTES	0:02:37	0:00:00	0	0
		DESPUÉS				
	4º	ANTES				
		DESPUÉS				

Tabla 4-11 Medias y desviaciones por brigada y semana

BRIGADA	MOMENTO	TIEMPO DE RESPUESTA		NÚMERO DE FALLOS	
		MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
1º	ANTES	0:03:15	0:00:44	0,88	1,01
	DESPUÉS	0:02:38	0:00:48	1,06	1,14
2º	ANTES	0:03:39	0:01:13	0,86	0,97
	DESPUÉS	0:02:26	0:00:49	0,95	1,02
4º	ANTES	0:03:13	0:00:47	0,84	0,96
	DESPUÉS	0:02:28	0:00:40	1,14	1,32
5º	ANTES	0:02:35	0:00:34	1,00	0,90
	DESPUÉS	0:02:28	0:00:20	0,61	0,24

Tabla 4-12 Valor medio y desviación típica de tiempos de respuesta y número de fallos por brigada antes y después de la navegación

El análisis de los resultados muestra que realmente, las diferencias entre las distintas brigadas no presentan un patrón claramente definido a lo largo de las semanas que dura el experimento. En general, los valores medios de los tiempos de respuesta se mueven entre rangos similares en todas las brigadas analizadas, tanto antes como después de la salida a la mar. Sí se observan variaciones moderadas, que posiblemente estén asociadas a las características individuales de los cuatro conjuntos de participantes escogidos, como pueden ser las condiciones específicas de cada jornada de medición, o los rasgos personales de los individuos que las forman.

En lo que respectan los tiempos de respuesta, se puede observar que la primera, segunda y cuarta brigada sí que siguen el mismo patrón que ya se había observado en capítulos anteriores: los tiempos de respuesta son entorno a un minuto. La única brigada que no manifiesta este patrón es la quinta, pero es necesario tener en cuenta que el número de participantes de este curso es mucho más reducido en comparación al resto, por lo que la interpretación de sus resultados debe ser siempre realizada con

cautela. Es este uno de los motivos también por los que presenta una variabilidad respecto a los tiempos de respuesta, mucho más reducida que otros cursos.

La quinta brigada, en este experimento, es un conjunto de participantes formado por personas que ingresan con titulación previa en la Escuela Naval Militar, por lo que únicamente realizan dos años de formación. Se podría esperar que presentasen entonces una adaptación al medio similar respecto a los alumnos de segundo curso. Sin embargo, asumen más responsabilidades en las lanchas de instrucción en lo que a los puestos se refiere, y a su vez realizan más salidas a la mar durante la semana que los participantes de la segunda brigada. Esto nos podría hacer pensar que los alumnos de quinto curso presentan más adaptación al entorno marítimo, y por ello presentan menos diferencias en cuanto a tiempos de respuesta y número de fallos comprando las pruebas realizadas antes y después de la navegación.

Siguiendo con la variable de los tiempos de respuesta, otro hito que se puede observar en la segunda brigada es que presenta más variabilidad antes de la navegación, y una desviación típica similar al resto de las otras brigadas después de las actividades de instrucción naval.

Una observación que se puede destacar en este análisis de la segunda brigada es que es un curso en el que los alumnos adquieren cierta libertad en comparación a primero. Los participantes de la primera brigada acuden todos con la misma prisa a las lanchas de instrucción, mientras que los alumnos de segundo pueden escoger si tomarse un café antes de la salida, o terminar alguna tarea necesaria para la navegación. Esto conlleva a que los aspirantes de segundo acudan en distintos estados de relajación a la salida a la mar.

Además, segundo es un curso en el que los alumnos todavía se encuentran en un proceso de adaptación al medio marítimo, en el que algunos tardan más tiempo, y otros menos en aclimatarse a estas condiciones.

En cuanto al número de fallos registrados, sí se puede destacar que la quinta brigada además de ser la que menos fallos comete, es la que registra unos resultados más uniformes. El resto de las brigadas, además de cometer más fallos que quinto curso, también presentan medias más altas en cuanto al número de respuestas incorrectas después de salir a la mar, que antes de la navegación.

El hecho de que la quinta brigada cometa menos fallos, puede estar relacionado con que son alumnos que ya cuentan con una carrera y una oposición, y esto significa un mayor nivel de experiencia y formación educativa. Es posible que estos participantes presenten una mayor familiaridad con tareas que requieren una atención sostenida (muchos de ellos han trabajado ya en la marina mercante, o ingresaron por promoción interna y ya han pasado por navegaciones en barcos de la Armada). Estos dos eventos también conllevan a que presenten una mayor capacidad para gestionar las situaciones operativas que se puedan dar durante la navegación, o empleen mejores estrategias cognitivas para solventar tareas bajo presión.

En concreto, la cuarta brigada es el curso que cuenta con más fallos registrados una vez se ha regresado de las lanchas de instrucción. El motivo de esto puede ser que sea porque cuenta con más niveles de fatiga acumulada que otros cursos. Ciertamente, que la parte física se lleva a cabo por parte de alumnos de primero y segundo curso, pero la cuarta brigada asume muchas más responsabilidades en los ejercicios, y en la toma de decisiones durante la navegación. El aumento de carga de trabajo puede derivar en más cansancio una vez finaliza la navegación.

Como resultado, podemos concluir que los resultados obtenidos del análisis de diferenciación entre brigada o curso académico no constituyen un factor determinante en el rendimiento observado en las pruebas realizadas durante el experimento que se ha llevado a cabo, siendo más probable que las variaciones que sí se observan, se deban a la interacción de múltiples factores de carácter individual y contextual.

Sí que hay que denotar en conjunto, que las diferencias que se dan entre brigadas reflejen el efecto combinado de nivel de experiencia y adaptación progresiva al entorno naval en esta etapa de

formación. La carga de trabajo no deja ser un factor con peso en este análisis, pero las interpretaciones deben considerarse con cautela debido al número limitado de observaciones disponibles con las que se cuenta.

El análisis comparativo entre brigadas aporta un punto de vista interesante en la manera en la que la experiencia, y la adaptación progresiva al entorno marítimo, influyen en el rendimiento cognitivo de los alumnos, además de los efectos de una carga de trabajo más ligera, o en su efecto, más fatigante. Este aspecto es de especial importancia en el ámbito de contextos operativos, donde la capacidad de atención y la precisión son fundamentales.

4.7 Evolución temporal por semanas

Con el objetivo de analizar la evolución del rendimiento cognitivo de los alumnos y del experimento a lo largo de todas las semanas, se profundizó en el comportamiento de los tiempos de respuesta semana a semana, incorporando el concepto Δt como variable clave para analizar la diferencia entre las mediciones antes de la navegación y después, definida previamente en el apartado 4.2.

El uso de Δt permite ir más allá del análisis descriptivo de medias, al estar introduciendo una medida directa de la variación intraindividual de los participantes, pudiendo aislar el efecto de la navegación asociado a cada sujeto. De esta manera, no solo se observa la evolución de los tiempos de respuesta, sino cómo cambia en concreto el impacto de las salidas a la mar a lo largo de todas las semanas.

4.7.1 Evolución de Δt a lo largo del experimento

Al analizar la evolución temporal de Δt , se observa que su comportamiento no es constante, sino que presenta variaciones entre semanas. Esto indica que el efecto de la navegación no es ni uniforme, ni estacionario sobre el rendimiento cognitivo.

Es necesario recalcar algo que ya se ha mencionado anteriormente, pero tiene especial relevancia en este apartado: el grado de dificultad de las pruebas a lo largo de las semanas varió, concretamente de pruebas más sencillas a más complejas. Este puede ser uno de los motivos por los que la evolución de Δt no es constante.

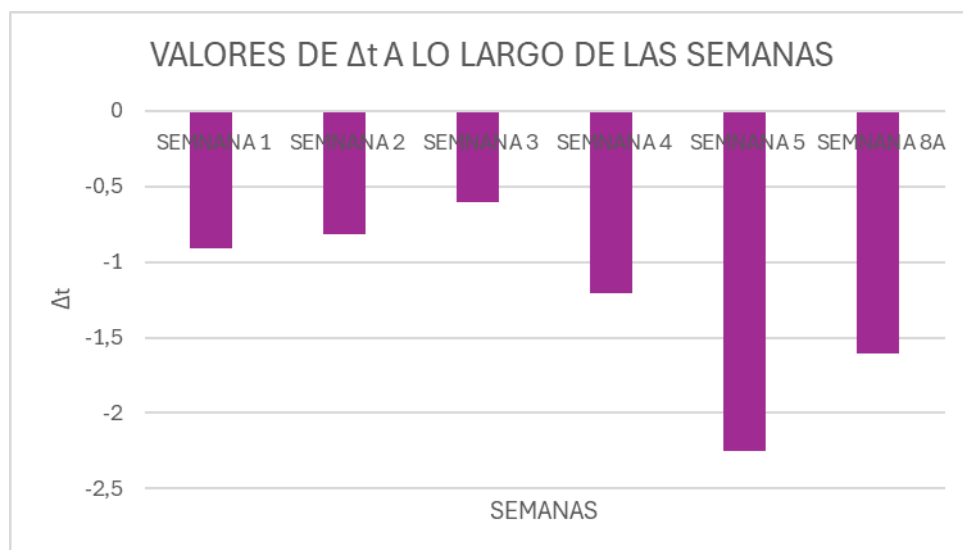


Figura 4-12 Variación de Δt a lo largo de las semanas

En las primeras semanas del experimento, Δt tiende a presentar valores más reducidos. Esto significa que la diferencia entre el rendimiento antes y después de la navegación es muy reducido, siendo el rendimiento en ambos periodos muy similar. Este comportamiento puede interpretarse como una fase inicial en la que los alumnos no cuentan con una adaptación sólida ni al entorno de las Lanchas de

Instrucción, ni al tipo de prueba que se les presenta para el experimento, desde un punto de vista evolutivo.

A medida que avanzan las semanas, se observa una tendencia de Δt hacia valores más negativos, lo que indica que los tiempos de respuesta de las pruebas posteriores a la navegación, son en promedio, menores que aquellos medidos antes de la navegación. Este resultado invita a pensar que la navegación puede dar lugar a un efecto de activación o mejora en el rendimiento una vez transcurrida la salida a la mar, ya descrito en apartados anteriores, confirmándose desde una perspectiva evolutiva.

En las semanas intermedias, (especialmente aquellas que empiezan a presentar un mayor grado de dificultad en las pruebas) este efecto se acentúa, ya que se observan mayores magnitudes de Δt . esto puede deberse a la combinación de algunos de los factores siguientes:

- Mayor familiaridad con la prueba
- Adaptación progresiva al entorno marítimo
- Incremento del estado de alerta tras las actividades en la mar

Sin embargo, en las últimas semanas se observa cierta estabilización en Δt , con menos variabilidad entre observaciones. Este comportamiento puede interpretarse como una consolidación del rendimiento, en la que los alumnos han alcanzado niveles más estables en la ejecución de la prueba y en su respuesta a las condiciones de la navegación.

4.7.2 Interpretación de Δt como indicador de la adaptación

El análisis de Δt permite interpretar la evolución temporal del rendimiento cognitivo en una tarde de navegación, a lo largo de varias semanas, desde una perspectiva dinámica. Esta variable actúa como indicador directo de:

- Adaptación al entorno naval
- Aprendizaje en la realización de la prueba
- Capacidad de respuesta ante carga operativa

El hecho de que Δt a lo largo de todo el experimento, tienda a valores negativos, da a entender que los alumnos no experimentan un deterioro del rendimiento tras la navegación, sino más bien una mejora relativa en lo que respecta la velocidad a la que afrontan las preguntas.

No obstante, esta mejora no debe interpretarse de forma aislada, ya que puede verse influenciada por factores como la repetición de la prueba o la familiaridad con su formato, por lo que Δt debe entenderse como un indicador que combina ambos efectos operativo y adaptativo.

4.7.3 Variabilidad intersemanal

Otro aspecto relevante es la variabilidad que se ha podido observar en los valores de Δt a lo largo de las semanas. Esta variabilidad refuerza a la idea de que el rendimiento cognitivo se encuentra influenciado por varios factores. Entre ellos se encuentran:

- Condiciones concretas de cada salida a la mar
- Ejercicios específicos de cada navegación
- Diferentes grados de dificultad en las pruebas
- Extensión de las preguntas por prueba
- Estado fisiológico del alumno
- Nivel de fatiga acumulado del alumno
- Tamaño muestral disponible en cada semana

Esta lista de factores es una de las consecuencias en la variabilidad que se presenta en el experimento, aunque exista una tendencia general. Por ello, el comportamiento de Δt no puede calificarse como determinista, sino una herramienta de la que nos ayudamos para extraer conclusiones, que nace de la interacción de una serie de variables.

4.7.4 Conclusión del del análisis temporal

En conjunto, este último análisis de la evolución de Δt a lo largo del experimento permite concluir que:

- El efecto de la navegación sobre los tiempos de respuesta tiene una evolución a lo largo del tiempo.
- Existe una tendencia hacia mejores tiempos de respuesta una vez ha transcurrido la salida a la mar.
- Esta tendencia se intensifica en fases intermedias, hasta estabilizarse finalmente.
- Δt es una herramienta clave para analizar cambios individuales en los alumnos, y una evolución en el tiempo

De esta manera, la incorporación de Δt como variable de análisis no solo sirve para el estudio antes-después de la navegación, sino que permite observar la manera en la que el rendimiento cognitivo se comporta como proceso dinámico, en el que influye la adaptación progresiva al entorno operativo.

4.8 Síntesis de los resultados

El análisis realizado a lo largo de todo el capítulo 4 permite obtener una visión global y general del comportamiento de los tiempos de respuesta y el rendimiento cognitivo de los alumnos en el contexto del experimento llevado a cabo durante el periodo de las actividades de instrucción naval.

En primer lugar, este estudio descriptivo de los tiempos de respuesta pone de manifiesto que esta variable cognitiva presenta las características típicas de los tiempos de respuesta en estudios del rendimiento cognitivo: el tipo de distribución que predomina es la asimétrica, con presencia de valores extremos y una variabilidad considerable entre mediciones. Esta variabilidad existe tanto a nivel intraindividual, como a nivel interindividual, confirmando la hipótesis de que son múltiples los factores que influyen sobre el rendimiento cognitivo de los alumnos.

Desde un punto de vista temporal, se ha podido observar cómo los tiempos de respuesta evolucionan a lo largo de las semanas, estando esta transición condicionada en una parte por el aumento progresivo en la dificultad de la prueba, y la adaptación de los alumnos a la dinámica experimental de esta. Este comportamiento pone de manifiesto la coexistencia de dos efectos: el del incremento de la exigencia en la tarea, y al aprendizaje progresivo por parte de los participantes.

En cuanto a lo que respecta la precisión de los alumnos en la prueba, el análisis del conjunto de tiempos de respuesta, junto al de número de fallos, no ha sido capaz de evidenciar el clásico comportamiento del compromiso esperado entre la rapidez y la precisión. Por el contrario, hay evidencias del resultado contrario, observándose cómo los alumnos que son capaces de resolver la prueba en menos tiempo también son los que menos fallos cometen. Este resultado sugiere que los individuos capaces de esto son aquellos dotados de mejor rendimiento cognitivo, y que la rapidez registrada no es fruto de respuestas impulsivas, sino de una mayor eficiencia en el procesamiento de la información.

Por otro lado, el análisis de posibles patrones entre las dos variables principales del experimento, y el resto de las variables fisiológicas registradas, no ha conseguido mostrar en términos generales, una relación fuerte entre el estado subjetivo del individuo, y su rendimiento en las pruebas. Aunque sí se han localizado correlaciones puntuales en determinadas semanas, aunque no presenten un patrón contundente. Esto significa que dichas variables, por sí solas, no pueden explicar la variabilidad observada en los tiempos de respuesta ni en el número de fallos.

En cuanto a la comparación de brigadas, tampoco se han identificado claramente diferencias determinantes en el rendimiento cognitivo de diferentes grupos de alumnos pertenecientes a distintos cursos. Sí se logran observar ligeras variaciones que posiblemente se deban al experimento, o al nivel de responsabilidad que asumen los alumnos en las Lanchas de Instrucción. Estas diferencias siguen sin

manifestar un patrón uniforme, y deben ser interpretadas con cautela, ya que el tamaño muestral y la variabilidad inherente al entorno operativo del estudio.

En conclusión, los resultados obtenidos reflejan que el rendimiento cognitivo en el entorno de la instrucción naval no depende de un único factor, ni de dos, ni de tres, sino múltiples, y su compleja interacción con el resto de las variables operativas, individuales y contextuales. La navegación, lejos de tener un efecto exclusivamente negativo sobre los participantes, puede incluso llegar a actuar como elemento modulador del rendimiento, mientras que la adaptación progresiva de los alumnos también juega un papel importante en la evolución del experimento.

Esta síntesis corrobora la utilidad del análisis de los tiempos de repuesta como herramienta para evaluar el rendimiento cognitivo en entornos reales. Destaca la importancia de considerar además de medidas agregadas, también la variabilidad, la evolución temporal, y las diferencias individuales en la interpretación de los resultados.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

El presente Trabajo de Fin de Grado ha permitido analizar el comportamiento de los tiempos de respuesta como indicador del rendimiento cognitivo de los participantes, en un entorno real de instrucción naval. Este estudio se realizó en base a los datos recogidos antes y después de la salida en Lanchas de Instrucción de los alumnos.

En cuanto a los objetivos planteados inicialmente, se puede afirmar que estos han sido alcanzados de forma satisfactoria. Ha sido posible analizar el comportamiento de los tiempos de respuesta, su variabilidad, y su relación con diversas variables fisiológicas, contextuales e incluso operativas.

En primer lugar, los resultados muestran que los tiempos de respuesta siguen una distribución asimétrica con presencia de algunos valores extremos, que se corresponde con lo que afirma la literatura ya existente. Además, se ha observado una variabilidad alta tanto de manera intraindividual como interindividual, reforzando paralelamente la complejidad de la naturaleza del rendimiento cognitivo en entornos reales.

Entre los resultados más relevantes de este estudio, se encuentra la diferencia observada entre los tiempos de respuesta que se registran antes de la navegación, y los que ese registran después. De forma general, se detecta una tendencia hacia tiempos menores una vez transcurrida la salida a la mar. Inicialmente, este comportamiento no es el esperado, sin embargo, existen varios factores que lo respaldan:

- Un posible estado de activación fisiológico después de la navegación, favoreciendo la rapidez en el procesamiento de la información.
- Cierta oxigenación asociada a las actividades en el exterior, pudiendo mejora momentáneamente el rendimiento cognitivo.
- Liberación de tensión una vez transcurrida la navegación.
- Un nuevo foco cognitivo tras haber completado la navegación, la cual evalúa a los alumnos y ellos se deben preparar.
- La familiaridad con la prueba, tras haberse enfrentado a ella previamente a la instrucción naval.

Por lo tanto, aparentemente la navegación no tiene exclusivamente efectos ligados a la fatiga, sino que puede incluso llegar a actuar como elemento modulador del rendimiento cognitivo, dando lugar en ciertos casos, a mejoras en la ejecución de las tareas.

En cuanto a la relación entre la velocidad y precisión, los resultados no logran demostrar el clásico *speed-accuracy trade-off*, sino un patrón más similar al *speed-accuracy coupling*. Los

alumnos que cuentan con un mejor rendimiento cognitivo lo demuestran tanto por la rapidez en la que resuelven la prueba, como en el número de fallos que cometen. Esto demuestra que existen diferencias globales en la capacidad de procesamiento de la información.

Respecto a las variables fisiológicas, no ha sido posible encontrar una relación fuerte en cuanto al rendimiento cognitivo. Sí se han observado correlaciones puntuales (especialmente en relación a la calidad del sueño), pero estas no son capaces de explicar por sí solas la variabilidad que se ha observado, indicando que el rendimiento cognitivo depende de múltiples factores combinados entre sí.

El análisis de las distintas brigadas tampoco ha mostrado diferencias determinantes entre los cursos, aunque sí es capaz de sugerir que existe cierta influencia en los cursos que cuentan con más experiencia y carga de trabajo en el entorno naval.

Finalmente, la introducción del parámetro Δt ha posibilitado analizar de forma directa la variación individual en el rendimiento, demostrando que los efectos de la navegación evolucionan con el tiempo, y están asociados a procesos de adaptación.

Desde el punto de vista metodológico, cabe destacar la aplicación de métricas relativas como herramienta de $\Delta t\%$, lo que ha permitido mejorar la comparabilidad entre condiciones experimentales no homogéneas. Este enfoque resulta especialmente relevante en estudios realizados en entornos reales, donde no siempre es posible mantener constantes todas las variables de medida.

Por otro lado, es importante señalar que el tamaño muestral disponible en cada semana, aunque suficiente para realizar un análisis descriptivo, puede limitar la robustez de los resultados, especialmente en lo que respecta a la identificación de relaciones entre variables. Este aspecto propone la conveniencia de ampliar la muestra en futuras investigaciones para reforzar la validez de los resultados obtenidos.

En conclusión, este Trabajo de Fin de Grado confirma que los tiempos de respuesta son una herramienta perfectamente válida y útil para evaluar el rendimiento cognitivo en entornos operativos reales, aportando a su vez información relevante que va más allá de los indicadores estadísticos tradicionales.

5.2 Líneas futuras

A partir de los resultados que se han obtenido, se identifican varias posibles líneas de investigación que permiten ampliar el alcance del estudio, y dotarlo de mejoras:

- Ampliación del tamaño muestral, incorporando más periodos de medición para aumentar la robustez estadística.
- Incorporación de valores objetivos adicionales, como mediciones fisiológicas directas (frecuencia cardiaca, niveles de oxígeno, nivel de *body battery* disponible en variedad de relojes inteligentes...)
- Análisis más avanzados mediante modelos estadísticos, como son los modelos de Efectos Mixtos, o Modelización ex-Gaussiana.
- Estudio específico del efecto de las condiciones meteorológicas, y los ejercicios llevados a cabo durante la salida a la mar.
- Diseño de pruebas en las que se mida únicamente el tiempo de respuesta, sin estar incluido la medición del tiempo de lectura y comprensión del enunciado.
- Diseño de pruebas homogéneas a lo largo de las semanas para eliminar el efecto de la variabilidad en la dificultad.
- En cada jornada, pruebas con el mismo tipo de preguntas, pero de distinto contenido, para evitar su memorización la primera vez que se realizan, y la repetición de las respuestas en la segunda realización de la prueba.

- En su defecto, análisis del efecto de la repetición de la prueba, para aislar el componente del aprendizaje.

Con todo esto, los resultados demuestran que merece la pena continuar con este tipo de proyectos, ambientados en nuestro propio entorno, al darnos la posibilidad de comprender mejor el comportamiento de las personas en condiciones reales del ámbito naval y militar, contribuyendo a la mejora de los procesos de formación del centro, la seguridad operativa y la toma de decisiones.

6 BIBLIOGRAFÍA

En esta sección figurarán todas las referencias, sean recursos web, libros, artículos, etc., incluyendo la información de autores, título de la obra, nombre de la publicación, año, edición y enlace más fecha de último acceso en el caso de referencias a recursos online.

- [1] Luce, R. D., *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- [2] Brown, S. y Heathcote, A., “The ex-Gaussian distribution: A model of response time data,” *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 9, nº 2, pp. 394–401, 2002.
- [3] Ratcliff, R., “A theory of memory retrieval,” *Psychological Review*, vol. 85, nº 2, pp. 59–108, 1978.
- [4] Heitz, R. P., “The speed-accuracy tradeoff: History, physiology, methodology, and behavior,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 8, 2014.
- [5] Lim, J. y Dinges, D., “A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables,” *Psychological Bulletin*, vol. 136, nº 3, pp. 375–389, 2010.
- [6] Vrijkotte, S., van den Berg, R., Notebaert, M. R. P., et al., “Sustained military operations and cognitive performance,” *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 87, nº 1, pp. 68–73, 2016.
- [7] Janicijevic, D., Miras-Moreno, S., Pérez-Castilla, A., Vera, J., Redondo, B., Jiménez, R. y García-Ramos, A., “Association of military-specific reaction time performance with physical fitness and visual skills,” *European Journal of Sport Science*, vol. 22, nº 2, 2022.
- [8] Hernaniz-Guijarro, M., Núñez-Peña, J. y del Castillo-Pérez, J. F., “A probabilistic classification procedure based on response time analysis towards a quick pre-diagnosis of student's attention deficit,” *Mathematics*, vol. 7, nº 3, 2019.
- [9] Castro-Palacio, J., Núñez-Peña, E. y Fernández-Carrasco, P. J., “Metodología para evaluación de tiempos de respuesta ante estímulos visuales: aplicación en buques de guerra,” *Revista de Psicología del Deporte*, vol. 29, nº 2, 2020.
- [10] Goggins, D., *Can't Hurt Me: Master Your Mind and Defy the Odds*. Lioncrest Publishing, 2018.
- [11] F. Galton, “The typical laws of heredity,” **Nature**, vol. 15, pp. 492–495, 1877.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

Implicaciones sociales

Este estudio contribuye a comprender mejor el rendimiento humano en entornos de alta exigencia, teniendo con ello un impacto directo en la seguridad operativa, toma de decisiones, y la formación del personal militar. La optimización del rendimiento cognitivo reduce el riesgo del factor erro humano en todas las situaciones, especialmente las críticas.

Implicaciones económicas

La mejora en el rendimiento cognitivo y en la reducción significa:

- Menos probabilidad de incidentes y accidentes operativos
- Reducción de costes asociados a errores humanos
- Optimización de procesos formativos

Los errores en la navegación pueden llegar a tener consecuencias económicas muy significativas. Por ello, su estudio tiene un impacto indirecto relevante.

Implicaciones ambientales

Aunque este trabajo no aborda explícitamente variables ambientales, una mejora en la toma de decisiones durante la navegación puede contribuir a:

- Reducción de accidentes marítimos
- Minimización e impactos ambientales que derivan de errores operativos

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado ha precisado del tratamiento de datos experimentales relativos a personas involucradas en el proceso formativo de la instrucción naval, en concreto alumnos de la propia academia militar.

Por ello, se han seguido unos principios éticos fundamentales:

- Confidencialidad y amonificación de los datos obtenidos
- Uso exclusivo académico de dicha información
- Ausencia de evaluación individual con fines disciplinarios

Desde el punto de vista social, es necesario comprender la importancia de los límites del rendimiento humano en contextos exigentes, evitando atribuir errores de forma exclusiva a causas individuales, y comprendiendo que los factores contextuales y sistemáticos también juegan su propio papel.

ANEXO III: CONTENIDO DEL TERCER ANEXO

Limitaciones del estudio y consideraciones metodológicas

En el presente Trabajo de Fin de Grado se han dado ciertas limitaciones, que son necesarias tener en cuenta para comprender el alcance y la practicabilidad del análisis.

El tamaño muestral ha variado en función de la semana que se estuviese analizando, dando lugar a resultados más y menos contundentes, y distribuciones Gaussianas con una forma más y menos clara.

Este trabajo se ha basado en un diseño cuasiexperimental, el cuál cuenta con una serie de variables para poder llevar a cabo el análisis, pero es probable que sobre los resultados realmente influyan otras además. También tiene una naturaleza longitudinal, lo que implica que distintos momentos de medición en los que se han registrado los datos también pueden tener su impacto en los resultados obtenidos.

A comprobar que inicialmente la prueba contaba con un menor grado de dificultad, se modificaron el tipo de preguntas para obtener resultados más acordes a lo que se buscaba en un primer instante, dando lugar a una variación en el grado de dificultad de la tarea a lo largo del tiempo, lo que puede conllevar a diferentes resultados en cada una de las semanas, de los que se habrían obtenido redactando pruebas con un grado de complejidad homogéneo durante todos los periodos.

Por último, cabe mencionar que se han tenido en cuenta una serie de variables subjetivas que los alumnos pudieron registrar mientras realizaban la prueba. Estas variables son las que principalmente cuentan un papel protagonista en la literatura ya existente en este ámbito de estudios, sin embargo, es posible que sean más las que influyan en realidad en el rendimiento cognitivo. Además, el hecho de que sean subjetivas da lugar a que realmente no revelen el verdadero estado fisiológico de las personas que participaron en el experimento.