

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE SISTEMA DE APRENDIZAJE MIXTO PARA LA
CONSOLIDACIÓN DEL CONOCIMIENTO TÉCNICO EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ MEDIANTE SPACED REPETITION, ACTIVE RECALL Y
AMBIENTES DE REALIDAD VITUAL**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero/a en Mantenimiento Industrial

Alumnos:

Camilo Duban Parada Vera

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de Sistema de Aprendizaje Mixto para la Consolidación del Conocimiento Técnico en Mantenimiento Automotriz Mediante Spaced Repetition, Active Recall y Ambientes de Realidad Virtual.

Nombre del candidato(a): Camilo Duban Parada Vera.

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

Campus: Sede viña del mar José Miguel Carrera. **Departamento:** Departamento de Mecánica.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Andrés Baldi González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 18/03/26 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17/03/26 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: GESTIÓN DE ACTIVOS, ISO 55001, GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO.

En la formación técnica en mantenimiento automotriz, uno de los principales desafíos es asegurar la retención a largo plazo del conocimiento y su correcta transferencia al desempeño práctico. En la práctica, los programas tradicionales de capacitación suelen mostrar una rápida degradación del aprendizaje, generando una brecha entre la formación impartida y la ejecución efectiva de procedimientos técnicos, situación que cobra especial relevancia en el contexto de la gestión del conocimiento exigida por la norma ISO 55001:2024.

Frente a esta problemática, el presente trabajo desarrolla y evalúa una metodología de entrenamiento orientada a la consolidación del conocimiento técnico, integrando principios de Spaced Repetition y Active Recall con plataformas digitales y simulación en realidad virtual. La propuesta se fundamenta en modelos neurocognitivos de la memoria y del olvido, permitiendo estructurar un sistema de estudio que optimiza los intervalos de repaso y favorece la recuperación activa del conocimiento como mecanismo central del aprendizaje.

La metodología fue implementada mediante un sistema digital de gestión de repasos, recursos de recuperación activa y una actividad práctica de mantenimiento en un entorno de realidad virtual, seleccionando como caso piloto el procedimiento de cambio de neumático. Su efectividad fue evaluada mediante un estudio comparativo entre un grupo que utilizó la metodología propuesta y un grupo que siguió prácticas convencionales de estudio.

Los resultados evidencian una mejora significativa en la retención del conocimiento procedimental en el grupo que utilizó la metodología propuesta, alcanzando un promedio de 81,3 % en desempeño práctico, frente a 60,4 % del grupo control, lo que representa un incremento cercano al 20 %. El desempeño teórico se mantuvo homogéneo en ambos grupos (83,3 %), confirmando que el resultado global estuvo determinado principalmente por la consolidación procedimental. Asimismo, el promedio global del grupo piloto alcanzó 81,6 %, en comparación con 64,0 % del grupo control.

En conjunto, los resultados validan la metodología como una alternativa viable y replicable para mejorar la retención y transferencia del conocimiento técnico en mantenimiento automotriz, alineada con los principios de gestión del conocimiento y con potencial de aplicación en contextos formativos e industriales.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	5
INDICE DE GRAFICOS	6
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	7
DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE IA	7
INTRODUCCIÓN	0
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVO ESPECÍFICO	1
CAPÍTULO 1: LA MEMORIA, EL OLVIDO Y SUS PROCESOS	2
1.1. La memoria	3
1.1.1. Relación entre la anatomía cerebral y la memoria	4
1.1.2. Tipos de memoria	6
1.1.3. Comparación de los principales tipos de memorias	10
1.1.4. Definición de la memoria objetivo	11
1.2. El poder del olvido contra la consolidación	12
1.3. Modelos de Spaced Repetition	15
1.3.1. Modelo exponencial de Ebbinghaus	15
1.3.2. Modelo SM-2	16
1.3.3. Modelo FSRS	17
1.3.4. Selección de un modelo de Spaced Repetition	17
1.4. Active Recall	19
CAPÍTULO 2: Diseño de la metodología y selección de actividad piloto	21
2.1 Diseño de intervalos de spaced repetition	22
2.1.1. Diseño de la base de datos de Spaced Repetition	22
2.1.1.3. Propiedad “Completado”	25
2.1.1.4. Propiedad “Aciertos” y “Total”	25
2.1.1.5. Propiedad “Calidad del Recuerdo (q)”	26
2.1.1.6. Propiedad “n Actual”	26
2.1.1.7. Propiedad “n’ (siguiente)”	27
2.1.1.8. Propiedad “f (q)”	27
2.1.1.9. Propiedad “EF recomendado”	28
2.1.1.10. Propiedad “Intervalos próximos (días)”	29
2.1.1.11. Propiedad “Siguiente R.”	29
2.1.2. Interfaz para el usuario	30

2.2	Selección de la actividad piloto	32
2.3	Diseño de flashcards de la actividad piloto	34
2.4	Metodologia de utilización de las herramientas	38
CAPÍTULO 3: Evaluación de la metodología		39
3.1.	Participantes del estudio piloto y convencional	40
3.1.1.	Fuente de datos y criterios de clasificación	40
3.1.2.	Indicadores construidos para la clasificación del perfil académico	41
3.2.	diseño metodologico	44
3.2.1.	Conformación de los grupos de estudio y referencia	45
3.2.2.	Instancia practica en realidad virtual	45
3.3.	Instrumento de evaluacion de los partipantes	47
3.3.1.	Evaluación del procedimiento técnico	47
3.3.2.	Evaluación de contenidos teóricos.	49
3.3.3.	Temporalidad de la evaluación respecto del inicio de la metodología	50
3.4.	Resultados obtenidos	51
3.4.1.	Construcción y alimentación de los resultados del análisis	51
3.4.2.	Resultados globales de desempeño	53
3.4.3.	Resultados según desempeño académico previo	54
3.4.4.	Resultados según orientación académica de aprendizaje	56
3.4.5.	Síntesis de los resultados obtenidos	59
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA.		71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	:	Estructura del hipocampo, (2) estructura de los ganglios basales, (3) estructura de la amígdala, (4) estructura del cerebelo.
Figura 1-2	:	Memoria a largo plazo.
Figura 1-3	:	Modelo exponencial o de Ebbinghaus.
Figura 1-4	:	Modelo SM-2.
Figura 1-5	:	Ciclo Active Recall.
Figura 2-1	:	Propiedades de la base de datos de Notion.
Figura 2-2	:	Propiedad “Técnico / Área” tipo selección.
Figura 2-3	:	Propiedad “Estudio” tipo fecha.
Figura 2-4	:	Propiedad “Completado” tipo selección.
Figura 2-5	:	Propiedad “Aciertos” y “Total” tipo número.
Figura 2-6	:	Propiedad “Calidad del Recuerdo (q)” tipo fórmula.
Figura 2-7	:	Propiedad “n Actual” tipo fórmula.
Figura 2-8	:	Propiedad “n’ (siguiente)” tipo fórmula.
Figura 2-9	:	Propiedad “f (q)” tipo fórmula.
Figura 2-10	:	Propiedad “EF recomendado” tipo formula.
Figura 2-11	:	Propiedad “Intervalo próximo (días)” tipo formula.
Figura 2-12	:	Propiedad “Siguiete R.” tipo formula.
Figura 2-13	:	Interfaz para el usuario.
Figura 2-14	:	Calendario de próximas actividades.
Figura 3-1	:	Peso teórico-práctico por asignatura.
Figura 3-2	:	Promedios ponderados.
Figura 3-3	:	Normalización de promedios ponderados.
Figura 3-4	:	Definición de bandas de tolerancia.
Figura 3-5	:	Instancia practica en realidad virtual.
Figura 3-6	:	Preguntas de procedimiento práctico.
Figura 3-7	:	Preguntas de contenido teórico.
Figura 3-8	:	Calendario de organización y evaluación.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	:	Comparativa de los diferentes tipos de memoria.
Tabla 1-2	:	Factor “q” de calidad del recuerdo.
Tabla 1-3	:	Comparativa de modelos de Spaced Repetition.
Tabla 2-1	:	Flashcard de normativa chile de estado de neumáticos y aspectos ambientales.
Tabla 2-2	:	Flashcard del procedimiento de extracción de Rueda.
Tabla 3-1	:	Clasificación absoluta de desempeño académico.
Tabla 3-2	:	Puntajes obtenidos por sujetos de prueba.
Tabla 3-3	:	Síntesis de resultados y patrones observados.

INDICE DE GRAFICOS

- Gráfico 1-1 : Curva del olvido (Murre & Dros, 2015).
- Gráfico 3-1 : Orientación académica.
- Gráfico 3-2 : Distribución de desempeño académico.
- Gráfico 3-3 : Resultados globales de desempeño.
- Gráfico 3-4 : Resultados según grupo y clasificación de desempeño académico previo.
- Gráfico 3-5 : Resultados según grupo y orientación de desempeño académico previo.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

ISO	:	International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización).
SENSE	:	Servicio Nacional de Capacitación y Empleo.
MCP	:	Memoria a corto plazo.
MLP	:	Memoria a largo plazo.
SM-2	:	SuperMemo 2.
OI	:	Optimud Inter-repetition Intervals (Intervalos óptimos entre repeticiones)
EF	:	Ease Factor (Factor de facilidad).
FSRS	:	Free Spaced Repetition Sheduler (Programador gratuito de repetición espaciada).
RV	:	Realidad Virtual.
AR	:	Active Recall (Recuperación activa).
SR	:	Spaced Repetition (repetición espaciada).
SSP	:	Problema del camino Estático más corto.
IA	:	Inteligencia Artificial.

B. SIMBOLOGÍA

q	:	Calidad del recuerdo (escala de evaluación del desempeño en el modelo SM-2).
n	:	Número de repetición actual.
n'	:	Número de repetición siguiente.
f(q)	:	Función de ajuste del intervalo en función de la calidad del recuerdo.
EF _n	:	Factor de facilidad recomendado para la siguiente repetición.
I	:	Intervalo de repetición (en días).

DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE IA

En el desarrollo del presente trabajo de título se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa como apoyo a la redacción en secciones específicas del documento, particularmente en el Capítulo 3 (Resultados), Resumen, la Introducción y la Conclusión, donde la claridad, coherencia y precisión del lenguaje resultan fundamentales para la correcta comunicación de los resultados obtenidos.

Dichas herramientas fueron empleadas exclusivamente para la mejora del estilo, organización del texto y reformulación lingüística, sin alterar el contenido técnico, los resultados, el análisis, la metodología ni las conclusiones del estudio.

La definición del enfoque metodológico, la interpretación de los resultados y el criterio académico expresado en este trabajo son de autoría exclusiva del autor, quien asume plena responsabilidad sobre la originalidad, veracidad y coherencia del contenido presentado.

INTRODUCCIÓN

La gestión de activos se ha consolidado como un pilar fundamental en las organizaciones modernas, especialmente en aquellas industrias complejas. En este contexto, las normas internacionales han buscado establecer marcos de referencia que permitan optimizar los procesos, asegurar la continuidad operacional y mejorar su desempeño.

En este marco, la actualización de la norma ISO 55001:2024 refuerza la dimensión de personas e información, incorporando un requisito específico de “7.7 Conocimiento”, estableciendo como requisito que “la organización debe considerar su conocimiento actual y determinar cómo actualizar, desarrollar, adquirir o acceder a cualquier conocimiento adicional necesario”

En Chile, la política pública refuerza la formación laboral mediante la Franquicia Tributaria SENCE, que permite a las empresas imputar hasta 1 % de la planilla anual a capacitación. Solo en 2023, SENCE reportó 710.234 personas capacitadas y una alta intensidad de uso empresarial lo que evidencia volúmenes relevantes de inversión que requieren efectividad del aprendizaje para lograr un mejor desempeño. Sin embargo, el alto volumen de formación no garantiza la retención ni transferencia efectiva a los puestos de trabajo.

La literatura neurocognitiva muestra que la memoria humana presenta pérdidas aceleradas tras el aprendizaje inicial (curva del olvido). La réplica contemporánea del experimento de Ebbinghaus demuestra un declive pronunciado durante las primeras 24 h y una reducción progresiva posterior, si no se aplican estrategias de consolidación y repaso. En paralelo, revisiones sobre transferencia de la capacitación reportan que solo una fracción del aprendizaje (10% al 30 %) se aplica y mantiene en el trabajo, poniendo en duda la efectividad real de programas tradicionales de capacitación.

Ante la brecha entre el volumen de capacitación e inversión en contraste con la baja retención efectiva del conocimiento y su transferencia al puesto de trabajo se propone una intervención neurocientífica innovadora aplicada a la gestión del mantenimiento que aplicara modelos de Spaced Repetition y Active Recall para consolidar la memoria a largo plazo, además de entornos de realidad virtual para situar el aprendizaje procedimental en contextos de trabajo. La propuesta se materializa en un sistema integrado de capacitación para entornos industriales que se validará en un piloto con estudiantes de Técnico Universitario en Mecánica Automotriz (USM), solución alineada al requisito 7.7 Conocimiento de ISO 55001:2024.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de entrenamiento replicable de consolidación de conocimiento técnico, basado en Spaced Repetition y Active Recall, integrado en plataformas digitales y simulación en Realidad Virtual, para la mejora de la retención y la transferencia práctica de mecánica automotriz.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Fundamentar los principios neurocognitivos de Spaced Repetition y Active Recall, mediante revisión bibliográfica sistemática y síntesis crítica, definiendo criterios de diseño del programa.
- Diseñar la metodología de entrenamiento, mediante la definición de intervalos óptimos de estudio en plantilla del software Notion, construcción de flashcards en software Remnote y selección de una actividad de mantenimiento en RV en concordancia con programas de asignaturas, disponiendo de un prototipo evaluable.
- Evaluar la efectividad de la metodología, mediante una comparación con sujetos de prueba, uno que sigue el programa (en Notion, Remnote, RV) y otro con prácticas convencionales, utilizando post-test y análisis de resultados, estableciendo si el sistema supera al método tradicional.

CAPÍTULO 1: LA MEMORIA, EL OLVIDO Y SUS PROCESOS

1. LA MEMORIA, EL OLVIDO Y SUS PROCESOS

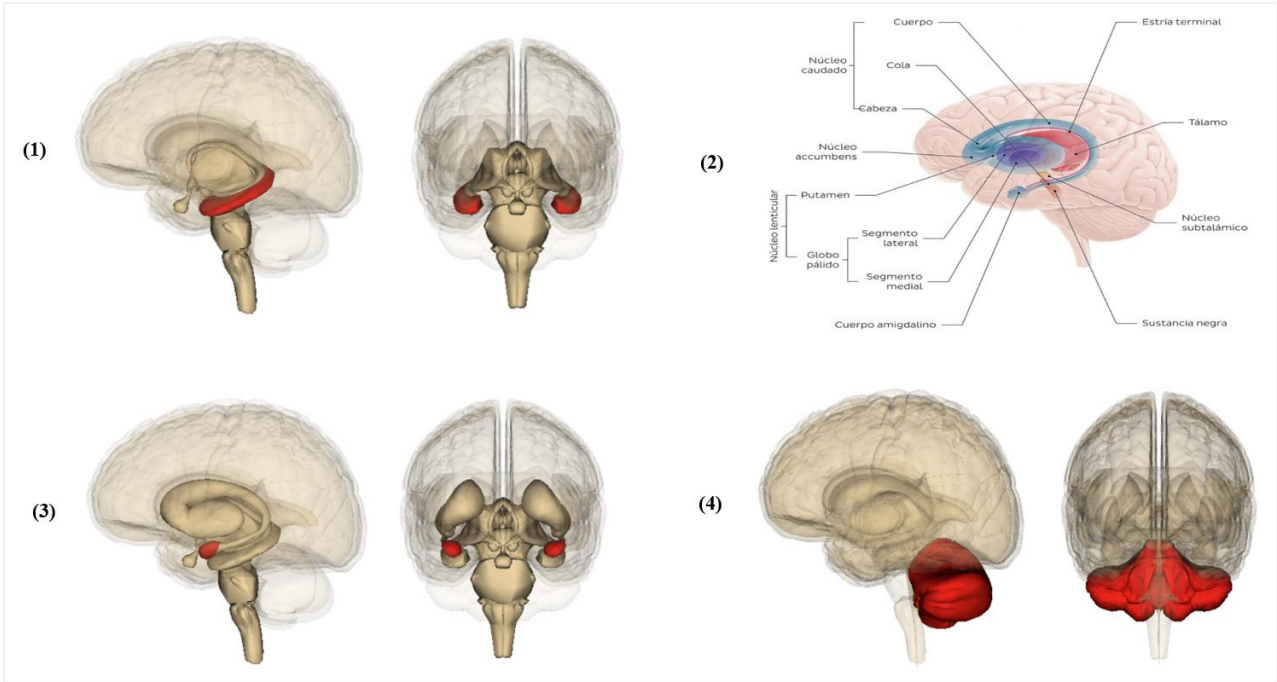
1.1. LA MEMORIA

La memoria y el aprendizaje forman dos procesos neurocognitivos muy relacionados que dejan al ser humano adaptarse, modificar su conducta y consolidar sus conocimientos a partir de sus experiencias. Desde una mirada cognitiva, Ballesteros sostiene que *“la memoria es un proceso psicológico que sirve para almacenar información codificada”* (Ballesteros, 1999, p. 705), que puede recuperarse de forma consciente o inconsciente según las solicitudes del entorno y el contexto. El proceso de la memoria involucra la codificación, el almacenamiento y la recuperación de grandes cantidades de información que son fundamentales para la adaptación de cada sujeto. En otras palabras, la memoria se comporta como un sistema dinámico que guarda las huellas de la experiencia para guiar la conducta futura, permitiendo que los estímulos aprendidos se mantengan disponibles y flexibles a su retroalimentación conductual a lo largo del tiempo. En conexión con esto, León Correa y Peña Herrera señalan que *“el aprendizaje es utilizar herramientas de tus experiencias con un fin constructivo; es ganar información por medio de experiencias, modificar tu pensamiento y tu inteligencia”* (León Correa y Peña Herrera, 2022, p.13). Entonces, el aprendizaje se puede entender como el proceso en el cual cada sujeto adquiere y transforma información a partir de las interacciones con su entorno u contexto, mientras que la memoria asegura la permanencia flexible de esos contenidos en el sistema nervioso. Considerándose dos procesos distintos, Gluck, Mercado y Myers destacan que la frontera entre ambos fenómenos es difusa, ya que *“la línea divisoria entre los enfoques biológico y psicológico del estudio del aprendizaje y la memoria empezó a desaparecer”* (Gluck, Mercado y Myers, 2014, p. xviii) reflejando que ambos procesos conviven en una base neurobiológica común y operan de manera integrada. De este modo, puede afirmarse que el aprendizaje se representa como el mecanismo de adopción del conocimiento y la memoria el sistema de retención y recuperación que permite que dicho conocimiento adquirido con anterioridad guie la conducta presente.

1.1.1. Relación entre la anatomía cerebral y la memoria

La literatura contemporánea define la memoria no como un sistema único o depósito específico, sino como una red de componentes y sistemas relacionados. En palabras de Ballesteros *“la memoria humana es un conjunto de sistemas interrelacionados, cada uno con características, funciones y procesos propios”* (Ballesteros, 1999, p.706). De acuerdo con esta definición y desde una mirada anatómica, el autor Rudy describe que la memoria se organiza en varios sistemas neuronales que operan de manera complementaria: el hipocampo, vital para la memoria declarativa y episódica; la amígdala, relacionada a los procesos emocionales; el cerebelo, encargado del aprendizaje asociativo y motor fino; y los ganglios basales, especialmente el neostriado formado por el núcleo caudado y el putamen, vinculados en el aprendizaje de hábitos, costumbres y el control de secuencias motoras (Rudy, 2014).

Este comportamiento y división funcional coincide con lo hablado por Gluck, Mercado y Myers, que indican que el hipocampo (figura 1-1, (1)) es vital para la creación de nuevas memorias de hechos y eventos. Los ganglios basales (figura 1-1, (2)), junto con la corteza cerebral, amígdala (Figura 1-1, (3)) y el cerebelo (Figura 1-1, (4)), contribuyen al aprendizaje de habilidades y definen el control motor a través de circuitos del tallo cerebral y la médula. Al mismo tiempo, el cerebelo participa activamente en la captura y sincronización de movimientos aprendidos, lo que lo hace fundamental en la memoria motora. Finalmente, la amígdala cumple un papel decisivo en la codificación y entendimiento de los recuerdos con carga emocional, fortaleciendo el vínculo entre emoción y memoria (Gluck, Mercado y Myers, 2014).



Fuente: Elaboración propia en base a (1) Anatomography (2012) – Hippocampus , (2) Kenhub. (2023). Ganglios basales – anatomía y función, (3) Anatomography (2009) – Amygdala y (4) Anatomography (2009), Cerebellum.

Figura 1-1: (1) Estructura del hipocampo, (2) estructura de los ganglios basales, (3) estructura de la amígdala, (4) estructura del cerebelo.

Reconocer los conjuntos de subsistemas anatómicos del cerebro con sus funciones y bases neurocognitivas es de gran relevancia ya que orienta qué habilidades, estrategias y prácticas conviene aplicar para consolidar el tipo de memoria necesaria para el sector industrial. Entonces, cuando el objetivo es consolidar hechos y conceptos, el foco recae en la memoria declarativa (episódica y semántica); si se busca mejorar destrezas perceptivas y motoras, se prioriza la memoria no declarativa, en específico la procedimental; si se pretende focalizar el valor afectivo de estímulos, cobra relevancia la memoria emocional; y para mantener el procesamiento inmediato de la información, se considera la memoria de trabajo. En el apartado 1.1.2 se presentarán estos tipos de memoria; sensorial, de trabajo, declarativa y no declarativa (procedimental, condicionamientos), sus principales sustratos y sus implicancias prácticas para definir el “tipo de memoria objetivo”.

1.1.2. Tipos de memoria

A pesar de los avances en el estudio de la memoria, continúan existiendo debates respecto si realmente pueden clasificarse distintos tipos de memoria o si, por el contrario, se trata de un único sistema formado en procesos comunes. Los autores Baddeley, Eysenck y Anderson reconocen que *“la cuestión de cuántos tipos de memoria existe sigue siendo controvertida”* (Baddeley, 1999, p.26), ya que algunos puntos de vista se enfatizan en las similitudes estructurales y/o funcionales entre cada tipo de memoria y por otro lado existen quienes priorizan sus diferencias.

Pero, más allá de este debate, el poder distinguir entre tipos de memoria resulta útil, *“porque permite organizar y estructurar nuestro conocimiento sobre la memoria humana”* (Baddeley, 1999, p.26). Considerando estas virtudes del poder clasificar los tipos de memorias es que en el siguiente apartado se generara una distinción entre la memoria sensorial, de corto plazo o de trabajo, y de largo plazo (explícita e implícita), con el fin de comprender mejor cómo cada una contribuye al aprendizaje y a la consolidación del conocimiento.

1.1.2.1. Memoria Sensorial

La memoria sensorial se considera como la primera etapa de procesamiento de la información proveniente de los estímulos del contexto y el entorno, siendo retenida por cortos lapsos antes de ser consolidados según su impacto en sistemas de almacenamiento más duraderos. Según Baddeley, Eysenck y Anderson, *“la información procedente del ambiente pasa a través de los almacenes sensoriales y a corto plazo en dirección a la memoria a largo plazo”* (Baddeley, 1999, p.27).

Este tipo de memoria y sus sistemas relacionados se comportan como un nexo entre la percepción sensorial externa y la memoria, teniendo una gran capacidad, pero con una duración extremadamente leve. Entre sus fronteras, se considera también la memoria icónica la cual se relaciona con la retención de imágenes visuales durante fracciones de segundo en la mayoría de los casos. Los experimentos de Sperling (1960) demostraron que los participantes podían recordar más información cuando se les pedía una parte específica del estímulo visual, lo que evidenció un almacenamiento visual inmediato denominado memoria icónica, definido como *“el almacenamiento breve de información visual”* (Baddeley, 1999, p. 28).

De manera similar, la memoria ecoica conserva sonidos recién oídos durante unos segundos, logrando procesar la información auditiva incluso después de cesar el estímulo. Neisser (1967) la describió como un almacén acústico precategorial o buffer de reconocimiento que sostiene temporalmente la señal auditiva para su interpretación posterior (Baddeley, 1999, p. 29).

En conjunto todos estos tipos de memorias sensoriales actúan como un nexo inicial que sostiene brevemente la información entrante, facilitando que la atención y experiencias seleccionen los elementos relevantes y clasificando su transferencia a la memoria de corto plazo.

1.1.2.2. Memoria a Corto plazo y Memoria de Trabajo

La memoria a corto plazo (MCP) se considera como la retención y almacenamiento temporal de una cantidad limitada de información durante intervalos cortos. Tal como señalan Baddeley, Eysenck y Anderson, *“utilizaremos el término memoria a corto plazo (MCP), de manera teóricamente neutra, para referirnos al almacenamiento de pequeñas cantidades de información durante breves intervalos temporales”* (Baddeley, 1999, p.30). Este tipo de memoria y sus sistemas sostiene un rol fundamental en el desarrollo de las tareas y actividades cotidianas, las cuales requieren mantener una porción de información, como podría ser recordar un número telefónico, recordar una dirección o los pasos de una instrucción nueva antes que se olvide o se transfiera a una memoria de largo plazo.

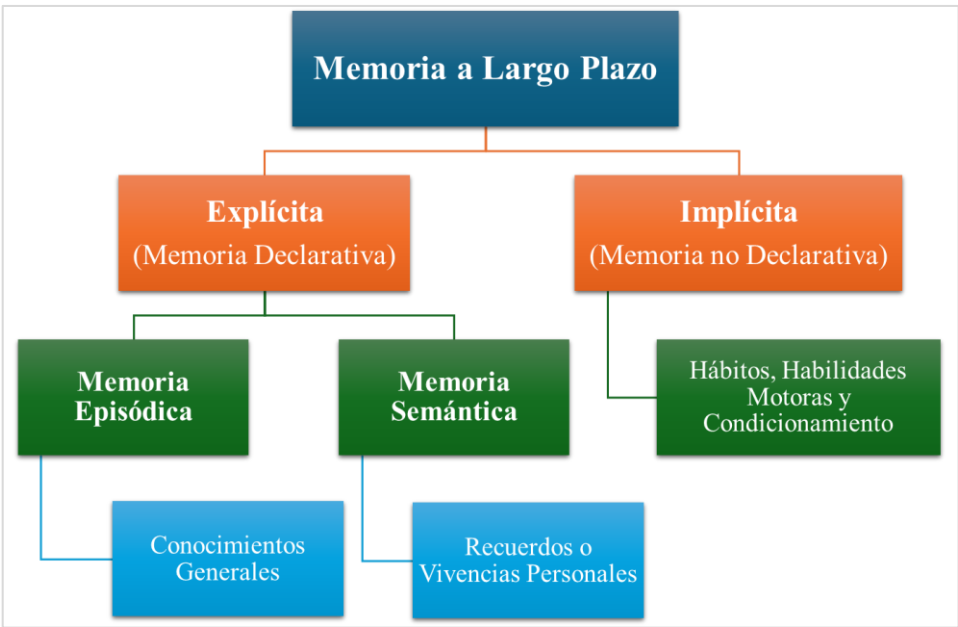
Inicialmente se pensaba que la MCP se desarrollaba de manera aislada, pero la evidencia experimental indica que su funcionamiento está completamente vinculado a los procesos de atención, solicitud y recuperación de la memoria a largo plazo. Es por esto por lo que la MCP puede solicitar tanto la retención de material verbal como el procesamiento de información visual o espacial (entorno, distancias y espacios físicos).

De esta forma, se genera el concepto de memoria de trabajo, que como sistema no solo almacena la información, sino que también interfiere en los contenidos adquiridos para la realización de tareas cognitivas más complejas. Los autores la describen como *“un sistema para el mantenimiento temporal y la manipulación de información, y en que éste es de gran ayuda en la realización de muchas tareas complejas”* (Baddeley, 1999, p.30). Este enfoque permitió ampliar la definición de la MCP, integrándola en procesos como el razonamiento, la comprensión del lenguaje y el aprendizaje.

El modelo propuesto por Baddeley en 1999 conformó esta perspectiva, conectando la psicología cognitiva con la neuropsicología al mostrar cómo la memoria de trabajo sirve de base a la ejecución de actividades que requieren mantener “las cosas en mente”. En palabras de los autores, esta aproximación *“ha demostrado ser productiva durante más de treinta años”* (Baddeley, 1999, p. 31), consolidándose como una de las teorías más influyentes para comprender el papel dinámico de la memoria en la cognición humana.

1.1.2.3. Memoria a Largo Plazo

La memoria a largo plazo (MLP) responde a los sistemas encargados del almacenamiento y retención de la información durante periodos extensos de tiempo. En palabras de Baddeley, Eysenck y Anderson, *“sistema o sistemas que supuestamente permiten el almacenamiento de información durante largos períodos de tiempo”* (Baddeley, 1999, p. 31). Este tipo de memoria tiene como función principal poder conservar los conocimientos, experiencias, estímulos importantes y habilidades que definen y determinan la identidad de cada sujeto con su desempeño y aprendizaje acumulativo. Una de las clasificaciones más aceptadas es la propuesta por Squire (1992) (figura 1-2), que distingue entre memoria explícita o declarativa y memoria implícita o no declarativa. La primera abarca los contenidos que pueden recordarse de forma consciente e intencional, como hechos y eventos, mientras que la segunda se manifiesta en la aplicación de conductas aprendidas, sin necesidad de recuerdo consciente.



Fuente: Elaboración propia en base a Squire (1992).

Figura 1-2: Memoria a largo plazo.

La memoria explícita se constituye dos componentes principales: la memoria semántica, que almacena el conocimiento general del mundo, y la memoria episódica, que conserva recuerdos personales situados en tiempo y espacio. Tulving (1972) fue quien introdujo esta distinción, señalando que la memoria semántica representa el “*conocimiento sobre el mundo*”, mientras que la episódica permite “*recordar eventos o episodios específicos*” (Baddeley, 1999, p.32). Ambas interactúan, ya que los episodios vividos enriquecen el conocimiento general y, a su vez, éste facilita la interpretación y el recuerdo de nuevas experiencias.

Por otro lado, la memoria implícita se manifiesta mediante la ejecución y no a través del recuerdo consciente. Esta incluye formas de aprendizaje como el condicionamiento clásico, la adquisición de habilidades motoras y la facilitación o priming, que mejoran la respuesta ante estímulos previamente presentados. En este tipo de memoria la experiencia influye en la conducta sin necesidad de recordar deliberadamente, lo que explica por qué los pacientes amnésicos pueden aprender nuevas destrezas aun sin recordar haberlas practicado.

1.1.2.4. Memoria Cotidiana

La memoria cotidiana se desarrolla en el funcionamiento de la retención en contextos reales, más allá de los experimentos de laboratorio. Este tipo de memoria al ser estudiada se busca poder comprender como es que los sujetos recuerdan, reconocen y luego aplican la información en su vida diaria que se vincula necesariamente con los factores emocionales, culturales y sociales de su entorno. Baddeley señalan que “*si queremos que nuestra teoría sea, a la vez, útil e informativa, tiene que ser aplicable más allá de las paredes del laboratorio, para que pueda decirnos cómo funciona nuestra memoria en el mundo real*” (Baddeley, 1999, p. 33).

Este punto de vista amplía el entendimiento teórico de la memoria al poder integrar observaciones provenientes de niños, ancianos y pacientes con alteraciones cognitivas lo que permite dar solidez a los modelos experimentales los cuales podrán ser sustentados con el contexto a priori de los sujetos. Los autores destacan que “*estos grupos no sólo permiten demostrar la utilidad y la robustez de la teoría cognitiva, sino que han proporcionado también maneras de poner a prueba y enriquecer la teoría*” (Baddeley, 1999, p. 34). Así, la investigación aplicada ha permitido desarrollar métodos de rehabilitación cognitiva y técnicas clínicas orientadas a la recuperación de la memoria episódica y semántica.

Otra ventaja adicional sobre los estudios de la memoria cotidiana es que que permiten revelar aspectos que los modelos tradicionales no siempre contemplan. Entre ellos se incluyen fenómenos como la memoria prospectiva (la capacidad de recordar realizar acciones futuras) y los errores de testigos oculares, que reflejan la interacción entre atención, emoción y contexto. Estos aportes han sido fundamentales para entender la memoria como un proceso dinámico, influido por la experiencia y la situación, más que como un simple depósito de información.

1.1.3. Comparación de los principales tipos de memorias

A modo de síntesis, en la tabla siguiente se presenta una comparación general de los principales tipos de memoria descritos. Se incluyen sus funciones más representativas y ejemplos prácticos que permiten visualizar cómo cada sistema participa en diferentes actividades cognitivas y de la vida cotidiana.

Tipo de memoria	Actividades o funciones con las que se relaciona	Ejemplo práctico
Memoria sensorial	Registro inicial y breve de información proveniente del entorno; actúa como interfaz entre percepción y atención.	Percibir el destello de una bengala o el eco de una palabra inmediatamente después de oírla.
Memoria a corto plazo (MCP)	Retención temporal de información verbal, visual o espacial durante pocos segundos; apoyo al pensamiento inmediato.	Recordar un número telefónico mientras se marca o una dirección recién mencionada.
Memoria de trabajo	Mantenimiento y manipulación activa de información para tareas cognitivas complejas como comprensión, razonamiento o cálculo mental.	Resolver una operación mental (ej. 27 + 18) o seguir instrucciones verbales de varios pasos.
Memoria a largo plazo (MLP) – Explícita / Declarativa	Almacenamiento consciente de hechos y experiencias; subdividida en memoria semántica (conocimiento general) y episódica (recuerdos personales).	Recordar que París es la capital de Francia (semántica) o revivir el día en que visito la Torre Eiffel (episódica).
Memoria a largo plazo (MLP) – Implícita / No declarativa	Aprendizajes expresados mediante la ejecución sin necesidad de recuerdo consciente; incluye hábitos, habilidades motoras, condicionamiento y priming.	Andar en bicicleta, tocar un instrumento o reconocer más rápido una palabra vista previamente.
Memoria cotidiana	Aplicación de la memoria en contextos reales; combina componentes declarativos e implícitos según la situación y la experiencia.	Recordar que debe enviar un correo más tarde (memoria prospectiva) o reconocer a una persona en la calle sin saber de dónde la conoces.

Fuente: Elaboración Propia a partir de Baddeley, 1999.

Tabla 1-1: Comparativa de los diferentes tipos de memoria.

1.1.4. Definición de la memoria objetivo

Las actividades del mantenimiento industrial necesitan de forma integrada varios tipos de memoria. En primer lugar, la memoria explícita-semántica que se vincula con la comprensión y retención de los conocimientos teóricos, como procedimientos técnicos, normas de seguridad, códigos de equipos y/o instrumentos o parámetros técnicos necesarios para la operación. Este tipo de información constituye la base que se busca consolidar y gestionar según el requisito actual 7.7 de la norma ISO 55001:2024.

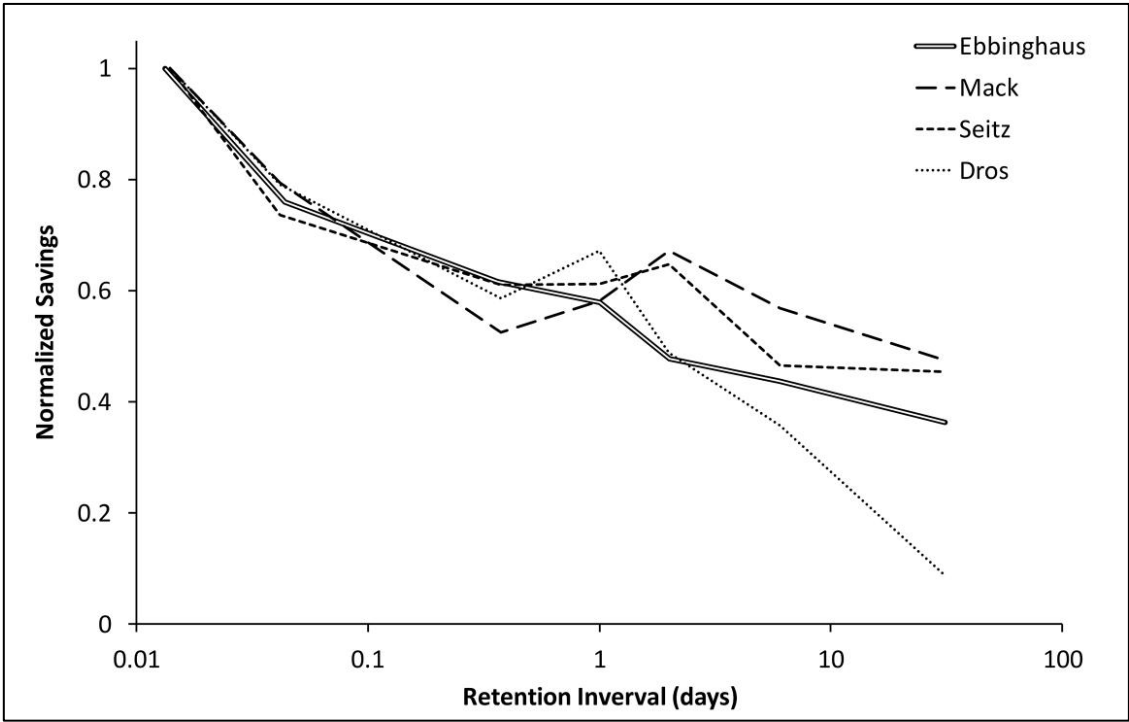
Por otro lado, las memorias episódicas y procedimentales cobran relevancia en la formación práctica y en la ejecución de tareas reales. Este tipo de memoria episódica logra asociar las experiencias pasadas de cada sujeto con situaciones nuevas a las que se puede afrontar, lo que favorece la transferencia y consolidación en el aprendizaje de nuevas actividades, mientras que la memoria procedimental fundamenta la automatización de habilidades motoras y cognitivas que son necesarias para el desempeño técnico, como el uso de herramientas específicas, secuencias de inspección, desarme o ajuste de componentes sometidos a mantenimiento. De esta forma la utilización de ambientes de realidad virtual permitiría la formación práctica y transferencia al puesto para que luego en la ejecución de las tareas reales las memorias episódicas y procedimentales se aplicar de mejor manera al estar ya desarrolladas

Sin embargo, todos estos tipos de memoria están ligados a un comportamiento natural del cerebro humano, que es el olvido. La información recientemente adquirida tiende a debilitarse con el tiempo si no es recordada conscientemente, inconscientemente o reforzada, fenómeno que ha sido estudiado y modelado en la llamada curva del olvido. Esta describe el ritmo natural con que se deteriora la huella del tipo memoria tras el aprendizaje inicial, evidenciando que la memoria no se pierde de forma lineal, sino de manera exponencial. Comprender este mecanismo resulta esencial para diseñar estrategias efectivas de consolidación y retención, ya que solo conociendo cómo y por qué olvidamos es posible contrarrestar el proceso y favorecer la retención duradera del conocimiento técnico y procedimental.

1.2. EL PODER DEL OLVIDO CONTRA LA CONSOLIDACIÓN

El proceso del olvido se considera inherente al funcionamiento de la memoria humana. Desde las primeras investigaciones de Herman Ebbinghaus, se percibe que la retención de la información disminuye de forma progresiva con el paso del tiempo, siguiendo estadísticamente en su comportamiento a un modelo exponencial o logarítmico denominado curva del olvido. En modelos experimentales más modernos, Murre y Dros demostraron que “*la retención de la información disminuye rápidamente tras el aprendizaje, reduciéndose la tasa de olvido a medida que transcurre el tiempo*” (Murre y Dros, 2015, p. 2).

El grafico 1-1 muestra cuatro conjuntos de resultados de datos experimentales (Ebbinghaus, Mack, Seitz y Dros) considerando las diferencias de sus modelos experimentales se compara la estabilidad del comportamiento del olvido a lo largo del tiempo. En el Eje horizontal se presentan en escala logarítmica el tiempo y en el eje vertical el porcentaje de ahorro normalizado, que viene a indicar la proporción de la información recordada o reaprendida con menor esfuerzo



Fuente: Murre y Dros, 2015.

Gráfico 1-1: Curva del olvido.

A pesar de las diferencias metodológicas entre los estudios experimentales, se puede confirmar un comportamiento común, con una pérdida inicial pronunciada de la retención de la información en la memoria en las primeras horas o días tras el aprendizaje de los sujetos, siendo seguida con un pendiente menos agresiva (una disminución gradual al pasar los días, pero menos violenta que el comportamiento de la primera fase).

La trayectoria similar entre las investigaciones evidencia la veracidad del fenómeno del olvido, mientras que algunas variaciones en las pendientes son relacionadas a las diferencias metodológicas y de los individuos. De esta forma las investigaciones confirman empíricamente que la memoria humana tiene declives que son predecibles, pero que también son modelables con herramientas matemáticas capaces de definir la retención actual y como mantenerla.

Desde un punto de vista neurocognitivo, el olvido no es una simple desaparición de la información contenida en la memoria, sino que responde al resultado de varios mecanismos funcionales. Yu, Liu y Wu identifican cuatro causas principales del olvido: el fracaso de almacenamiento, el olvido motivado (por causas emocionales), la interferencia entre recuerdos similares y el fallo de recuperación. En palabras de los autores, *“la curva del olvido puede modelarse como el efecto conjunto de fallas de almacenamiento, interferencias y procesos motivacionales, todos ellos diseñados para optimizar la eficiencia del sistema cognitivo”* (Yu, Liu y Wu 2018, p. 4).

Bajo el entorno al cual debe adaptarse el ser humano, el olvido cumple un rol funcional especial para la eficiencia del sistema cognitivo. Tal como señala Schacter, *“la transitoriedad no representa un defecto, sino una característica funcional del sistema que evita la sobrecarga y mantiene la adaptabilidad de la mente humana”* (Schacter, 2001, p.12). El debilitamiento progresivo de la información retenida libera recursos atencionales y evita la interferencia entre recuerdos, favoreciendo la flexibilidad para incorporar nueva información.

Este enfoque es compartido por Benjamin, quien plantea que *“olvidar no es lo opuesto a aprender, sino una condición que lo posibilita”* (Benjamin, 2011, p.1). Según su teoría del olvido, los recuerdos no se desvanecen, si no que su accesibilidad disminuye progresivamente (fuerza de recuperación), permaneciendo de alguna forma almacenados con una fuerza “latente” que mediante estímulos facilita el reaprendizaje posterior. De esta forma, el olvido ocurre según la necesidad del sujeto de retener la información que sea vital para asegurar el desempeño en su entorno (un contexto que es dinámico o cambiante como lo puede ser la industria y la tecnología).

Sumando al entendimiento del olvido, la neurociencia ha demostrado que las emociones juegan un papel conductual sobre el recuerdo, pero también sobre el olvido. Vega afirma que *“las emociones actúan como un filtro que determina qué recuerdos se consolidan y cuáles se desvanecen, especialmente cuando intervienen factores como el miedo o el trauma”* (Vega, 2023 p.18). La activación de la amígdala ante estímulos intensos potencia la consolidación de recuerdos emocionales, mientras que las experiencias neutras o poco significativas suelen olvidarse con mayor facilidad.

Entender estos mecanismos resulta de gran relevancia para el diseño de las estrategias de aprendizaje y de retención. Conociendo estos mecanismos, se puede asegurar que la curva del olvido no puede eliminarse, pero si contrarrestarse mediante metodologías que impidan al cerebro considerar la información aprendida como no relevante para el desempeño del sujeto en su entorno y eso se logra mediante la reactivación del recuerdo (específico de los contenidos aprendidos) a intervalos de tiempo.

Según la OCDE, *“cada vez que un recuerdo se reactiva, se modifica y se consolida de nuevo, fortaleciendo las redes neuronales implicadas en el aprendizaje”* (OCDE, 2009, p.63).

En el contexto del mantenimiento industrial y la formación técnica asociada, comprender el comportamiento del olvido y el aprendizaje permiten diseñar procesos de enseñanza y consolidación mas eficientes en el tiempo, asegurando la retención de los contenidos que puedan ser vitales para la ejecución de cada puesto de trabajo.

Combatir la curva del olvido significa aprovechar su comprensión para generar una metodología que fortalezca tanto la memoria conceptual como la procedimental, favoreciendo la retención de habilidades críticas.

De esta forma, diversas investigaciones han desarrollado herramientas y modelos matemáticos cuantitativos que permiten determinar el ritmo de olvido de los contenidos y seleccionar el momento óptimo para su refuerzo.

En el siguiente apartado 1.3, se abordarán dichos modelos, los cuales proporcionan una base matemática para planificar los intervalos de repaso que contrarresten la curva del olvido y optimicen la consolidación del conocimiento técnico considerando su aplicación en entornos industriales.

1.3. MODELOS DE SPACED REPETITION

A continuación, se explicarán 3 modelos matemáticos desarrollados para cuantificar el proceso del olvido y poder definir los intervalos óptimos para los repasos necesarios de los contenidos, asegurando la retención de la información a largo plazo.

A través de estos modelos sería posible la construcción de un sistema de aprendizaje y consolidación capaz de ajustarse dinámicamente en función del rendimiento de cada sujeto, ofreciendo así modelos de entrenamientos más eficientes a largo plazo que permitan una gestión integral del conocimiento en mantenimiento industrial.

1.3.1. Modelo exponencial de Ebbinghaus

El modelo exponencial formulado por Hermann Ebbinghaus (1885) describe cómo la memoria se degrada con el paso del tiempo. A partir de sus experimentos con listas de sílabas sin sentido, observó que la retención disminuye de forma rápida tras el aprendizaje y luego se estabiliza gradualmente, estableciendo así la denominada curva del olvido (Murre y Dros, 2015).

Su comportamiento se expresa mediante la ecuación:

$$R(t) = e^{-t/h}$$

Fuente: Elaboración propia en base Murre y Dros, 2015

Figura 1-3: Modelo exponencial o de Ebbinghaus

donde $R(t)$ representa la retención en el tiempo “t” y “h” una constante de decaimiento, que define la velocidad con que se produce el olvido (Murre y Dros, 2015). Un valor bajo de h implica una pérdida rápida de información, mientras que un valor alto indica una memoria más estable y resistente al paso del tiempo.

Aunque se trata de un modelo simple, su formulación exponencial logró dar fundamento al desarrollo posterior de la predicción del olvido.

En el ámbito del mantenimiento, la constante h puede interpretarse como un indicador de durabilidad del conocimiento técnico, útil para estimar la frecuencia con que deben programarse repasos o reentrenamientos a fin de mantener la competencia operativa.

1.3.2. Modelo SM-2

El modelo SM-2, desarrollado por Piotr Woźniak, se posiciona como uno de los primeros algoritmos empíricos que se adaptan a la retención de cada sujeto, creado para la optimización de la retención del conocimiento mediante Spaced Repetition. A diferencia del modelo exponencial de Ebbinghaus, que describe el deterioro de la memoria de forma pasiva, SM-2 propone un sistema de ajuste dinámico de los intervalos de repaso según el desempeño del aprendiz (Woźniak, 1994, p.61).

En su formulación teórica inicial, Woźniak presentó una función de intervalos óptimos para mantener una retención del 95%, considerando un factor facilidad de recordar para el ajuste de los intervalos.

Sin embargo, la aplicación práctica del modelo dio origen al algoritmo SM-2, utilizado en software como SuperMemo y Anki, que simplifica el cálculo de los intervalos para hacerlo computacionalmente viable. Diversas implementaciones modernas, como la publicada por Borretti (2023), verifican el funcionamiento del algoritmo y proponen una forma cerrada (Figura 1-8), en donde los primeros intervalos son constantes (0, 1 y 6) y luego el ajuste del intervalo se calcula mediante las ecuaciones (4) o (5), aplicando un ajuste del factor EF con las ecuaciones (6) y (7), donde “q” representa un factor de la calidad del recuerdo (ver tabla 1-2)

$$I(0) = 0 \tag{1}$$
$$I(1) = 1 \tag{2}$$
$$I(2) = 6 \tag{3}$$
$$I(n) = I(n-1) \times EF \tag{4}$$
$$I(n) = 6 \times EF^{(n-2)} \tag{5}$$
$$EF' = \max(1.3, EF + f(q)) \tag{6}$$
$$f(q) = -0,8 + 0,28q - 0,02 * q^2 \tag{7}$$

Fuente: Elaboración propia en base a Borretti, 2023.

Figura 1-4: Modelo SM-2

Valor (q)	Descripción del desempeño
0	Apagón. No hay recuerdo.
1	Respuesta incorrecta, pero la respuesta (una vez revelada) fue recordada.
2	Respuesta incorrecta, aunque la respuesta parecía fácil de recordar.
3	Recordado con dificultad.
4	Recordado con vacilación.
5	Recordado perfectamente.

Fuente: Elaboración propia en base a Borretti, 2023.

Tabla 1-2: Factor “q” de calidad del recuerdo.

1.3.3. Modelo FSRS

FSRS es un modelo programador de repasos basado en datos propios del entrenamiento y repaso que modelan la memoria con un proceso Markoviano y con modelos de optimización (Problema de camino Estático más corto (SSP)) resuelve la determinación óptima de los intervalos de repaso.

El modelo se entrenó con aproximadamente 220.000.000 de registros reales y reporta una mejora del 12,6 % sobre métodos previos (Ye, Su y Cao, 2022).

El modelo que sustenta FSRS representa el estado de memoria con tres magnitudes: dificultad (d), vida media (h) y probabilidad de recuerdo (p). El comportamiento de la memoria se modela de una manera “interpretable”, por ejemplo, la relación desde el ultimo repaso, la vida media previa y la probabilidad se recordar se actualizan según cada repaso utilizando ecuaciones de transición de estado (señalando que recordar aumenta h y olvidar la reduce) (Ye, Su y Cao, 2022). Con ese modelo, el intervalo óptimo de repaso se obtiene resolviendo la ecuación de Bellman para cada estado (h, d).

En términos prácticos, FSRS se diferencia de modelos como SM-2 porque aprende los intervalos a partir del rendimiento real y de las características del material, en lugar de usar reglas fijas.

1.3.4. Selección de un modelo de Spaced Repetition

La Tabla 1-3 presenta una comparación entre los tres modelos estudiados considerando criterios técnicos y de aplicabilidad al mantenimiento industrial y sus entornos.

El objetivo es determinar cuál de ellos resulta más adecuado para un sistema de aprendizaje orientado al mantenimiento técnico-operativo, donde la retención del conocimiento y la periodicidad del repaso son esenciales.

Los criterios de evaluación permiten valorar la capacidad del modelo para ajustarse al desempeño individual, su dependencia tecnológica y su aplicabilidad en contextos industriales sin infraestructura avanzada de inteligencia artificial.

Criterio	Enfoque de análisis	Modelo Exponencial o Ebbinghaus	SM-2	FSRS
Precisión adaptativa	Evalúa si el modelo adapta el intervalo de repaso según el desempeño o la dificultad percibida.	No adapta el intervalo según desempeño; aplica una función exponencial fija de decaimiento.	Ajusta dinámicamente el intervalo mediante la variable EF y la calidad de respuesta del recuerdo	Ajuste altamente adaptativo; utiliza funciones de probabilidad y optimización bayesiana para estimar la retención ideal.
Parametrización	Determina la complejidad del modelo y la facilidad de calibración (p. ej., λ , EF, h).	Solo requiere una constante de olvido (λ), calibrada empíricamente.	Requiere variables EF, q, número de repeticiones (n) e intervalos (I).	Requiere mayor cantidad de parámetros (dificultad, estabilidad, retrievability, etc.)
Requerimientos de datos	Analiza si el modelo requiere datos históricos o sólo las respuestas del usuario.	No necesita datos previos; es puramente teórico.	Se alimenta de la evaluación continua del usuario tras cada repaso.	Requiere grandes volúmenes de datos históricos o simulados para ajustar sus parámetros con precisión.
Facilidad de implementación	Evalúa qué tan fácil es implementar el algoritmo en Excel, LMS o software de entrenamiento.	Muy simple; puede aplicarse con una fórmula exponencial en Excel.	Moderada; se implementa fácilmente en hojas de cálculo o aplicaciones simples (Anki, SM-15).	Alta; demanda procesamiento estadístico o integración con lenguajes de programación (Python, R, etc.).
Escalabilidad y automatización	Considera si el modelo puede integrarse con plataformas de e-learning	No contempla integración con sistemas.	Compatible con LMS o CMMS mediante rutinas sencillas de retroalimentación.	Altamente integrable con plataformas de e-learning e IA para personalización masiva.
Interpretabilidad	Examina qué tan fácil es explicar el porqué del intervalo de repaso al usuario o instructor.	Muy comprensible y visualizable (curva de decaimiento clara).	Comprensible para instructores; se puede justificar el cambio de intervalos por desempeño.	Menos transparente; las decisiones provienen de un modelo estadístico complejo, difícil de explicar a usuarios no técnicos.

Fuente: Elaboración Propia, en base a investigación de modelos realizada.

Tabla 1-3: Comparativa de Modelos de Spaced Repetition

A partir de la comparativa, se logro determinar que el modelo SM-2 resulta ser el mas adecuado para su aplicabilidad en entornos industriales del mantenimiento, debido a que ofrece un equilibrio entre su precisión adaptativa a los capacitados, la simplicidad operativa que se pudiese lograr y sin depender de grandes volúmenes de información histórica, una condición crítica en industrias donde los registros de aprendizaje suelen ser limitados. A diferencia del modelo FSRS, el SM-2 puede implementarse de forma practica y de manera mas llevadera, incluso permitiendo su integración en herramientas comunes como Microsoft Excel, lo que aumenta significativamente su facilidad de integración de diversas industrias.

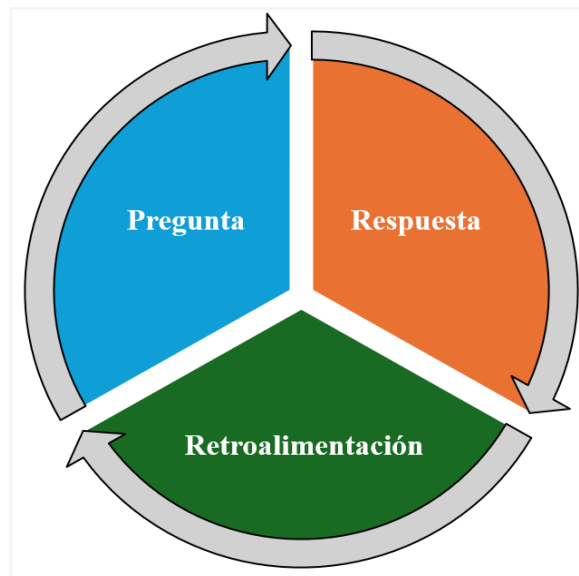
Asimismo, su facilidad de interpretación favorece la comprensión tanto por parte de los trabajadores como de los encargados de capacitación, facilitando la aceptación y control del proceso formativo dentro de los programas de desarrollo técnico. En conjunto, estas características hacen del modelo SM-2 una alternativa eficiente, transparente y compatible con la realidad operativa de la mayoría de los entornos industriales de mantenimiento.

1.4. ACTIVE RECALL

Durante el capítulo uno, se ha abordado el funcionamiento de la memoria, sus mecanismos anatómicos, la clasificación de los tipos de memoria, el funcionamiento del olvido y estrategias para luchar contra él, pero hasta ahora, no se ha profundizado en cual es la forma más eficiente en que se debe estudiar o repasar un contenido. Este apartado busca explicar cómo es que la estrategia Active Recall considera la mejor practica para incentivar el recuerdo activo a memoria de largo plazo.

Active Recall es una estrategia de aprendizaje basada en recordar deliberadamente la información, mediante un proceso estructurado de pregunta, respuesta y retroalimentación. A diferencia de métodos pasivos como leer, subrayar, hacer resúmenes, etc. esta práctica exige que el sujeto recupere la información desde la memoria sin apoyos, lo que implica un mayor esfuerzo cognitivo y genera mayores conexiones neuronales. Según Van Hoof, Madan y Sumeracki, *“la práctica de recuperación requiere examinar la memoria a largo plazo para volver a trabajar con la información prioritaria en la memoria de trabajo”* (Van Hoof, Madan y Sumeracki, 2021, p.119), reforzando así la consolidación del aprendizaje.

Este formato (Figura 1-6) permite al cerebro comparar la información recordada con la correcta. En estudios de neuroimagen, Lio, Naya y Susuki comprobaron que esta práctica “*fortalece las nuevas memorias y reduce la intrusión de las antiguas*” (Liu, Naya y Susuki, 2021, p.2), al involucrar la corteza prefrontal medial, que facilita la integración y actualización del conocimiento.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 1-6: Ciclo de Active Recall.

Desde la neurociencia educativa, Dubinsky y Hamid explican que este tipo de aprendizaje activo estimula los circuitos de recompensa y motivación, haciendo que la experiencia y el contenido sean “*más valiosos, significativos y memorables*” (Dubinsky y Hamid, 2024, p.3). Es por esto por lo que el recuerdo activo mejora la retención, la comprensión profunda y la autonomía del aprendizaje, siendo especialmente útil en programas de capacitación técnica donde se requiere aplicar lo aprendido con precisión y criterio.

Lo expuesto en este capítulo permite comprender que el aprendizaje técnico en mecánica automotriz no depende solo de la enseñanza inicial de contenidos, sino también de la manera en que estos se consolidan, se recuperan y se sostienen frente al olvido. Desde esta perspectiva, la memoria, sus procesos y sus limitaciones entregan la base para justificar el uso de estrategias como *Active Recall* y *Spaced Repetition*, las cuales favorecen la retención del conocimiento teórico y el fortalecimiento de las habilidades procedimentales requeridas en la práctica automotriz. De este modo, la formación técnica puede entenderse como un proceso continuo de refuerzo y recuperación, orientado a mejorar la transferencia del aprendizaje hacia situaciones reales de diagnóstico, intervención y mantenimiento.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA METODOLOGIA Y SELECCIÓN DE
ACTIVIDAD PILOTO

2. DISEÑO DE LA METODOLOGIA Y SELECCIÓN DE LA ACTIVIDAD PILOTO

2.1 DISEÑO DE INTERVALOS DE SPACED REPETITION

Se reconoce el potencial que significa la integración de los modelos de Spaced Repetition, en particular SM-2 seleccionado en el capítulo anterior, pero para su utilización es necesario generar un sistema automático que eluda su complejidad y sea amigable desde un punto de vista operativo para usuarios sin mayores conocimientos lo que facilitaría su implementación en la industria.

Existen muchos softwares que permiten integrar las ecuaciones del modelo, siendo en la práctica llevaderos y amigables. En esta ocasión se ha seleccionado la aplicación Notion debido a su capacidad de ser utilizado de manera online, sin cobros de utilización, por su atractivo visual y en especial; por su adaptabilidad y carácter intuitivo en su utilización.

En el apartado 2.1.1 se detallará como se integró el modelo en Notion.

2.1.1. Diseño de la base de datos de Spaced Repetition

El modelo SM-2 se implemento en una base de datos de Notion, en la que cada fila representa un ítem (contenido) y sujeto de estudio, las columnas que alimentan a estas filas concentran la información necesaria para automatizar el sistema, estas columnas tienen distintas propiedades que permiten generar la integración del modelo en todas las unidades que maneja (tiempo, tasas, variables numéricas con y sin unidad) mediante fórmulas que permitieron la automatización de los parámetros del modelo para determinar los intervalos de repaso.

Con el fin de darle mayor pragmatismo al modelo para entornos reales de capacitación, se reemplazó la calificación subjetiva de facilidad de recordad por cada pregunta por un cálculo automático que se basa en las preguntas respondidas correctamente respecto del total, la base de datos transforma ese resultado en un valor de q. Este enfoque permite evaluar lotes de preguntas (p. ej., checklists o evaluaciones por bloque), reduce la ambigüedad del registro y simplifica la operación diaria. (La regla exacta que vincula aciertos/total con el valor de “q” se explica en el apartado siguiente, cuando se describe cada columna).

El flujo operativo de utilización de la base de datos es directo, el usuario completa por cada repaso la información mínima necesaria y la planilla calcula “q”, actualiza el factor de facilidad (EF), el contador de repeticiones “n” y otras propiedades relevantes y determina el intervalo correspondiente para dar la fecha próxima de capacitación

En la figura 2-1. Se aprecian las propiedades clave que soportan el funcionamiento de la planilla (indicadores de sesión y parámetros calculados del modelo). En el apartado siguiente se explica cada campo y, cuando corresponde, la fórmula utilizada.

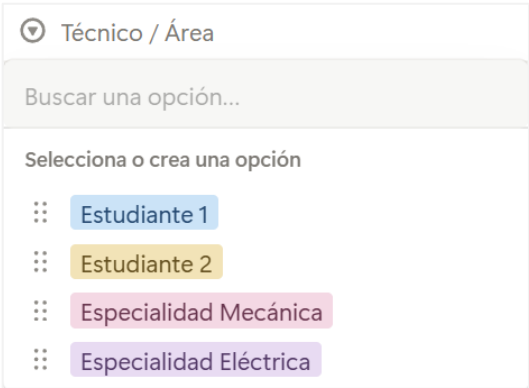
Ejemplificación	
📍 Técnico / Área	Vacío
📅 Estudio 🏠	Vacío
📍 Completado 🏠	Vacío
# Aciertos	Vacío
# Total	Vacío
Σ Calidad del Recuer...	0
🔗 Link 🔗	Vacío
Σ n Actual	0
Σ q	0
Σ n' (siguiente)	0
Σ f(q)	-0,8
Σ EF recomendado	1,7
Σ Intervalo próximo (...)	0
Σ Siguiende R. 🏠	Vacío

Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-1: Propiedades de la base de datos de Notion.

2.1.1.1. Propiedad “Técnico / Área”

Propiedad de selección utilizada para identificar al sujeto de la capacitación según el modo de uso del sistema (Figura 2-2). Si la base la opera un encargado de capacitaciones, se ingresaría el nombre del técnico que es entrenado. Por otro lado, si lo utiliza cada usuario entrenado, se ingresa la especialidad o área de la capacitación recibida. No interviene en los cálculos del SM-2; sirve para trazabilidad, reportes y gestión por persona o por área.

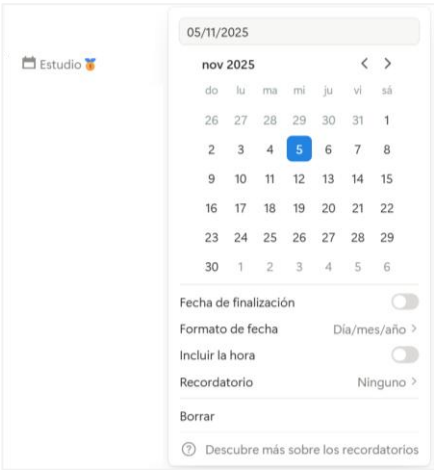


Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-2: Propiedad “Técnico / Área” tipo selección.

2.1.1.2. Propiedad “Estudio”

Propiedad de fecha que registra la fecha de la sesión de estudio o repaso (Figura 2-3). Se actualiza al ingresar la fecha correspondiente y sirve como referencia temporal para la programación, al modificarla, las fórmulas se ajustan y recalculan la próxima revisión (Siguiendo R.) en función del Intervalo (días) y habilitan filtros y reportes por día.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-3: Propiedad “Estudio” tipo fecha.

2.1.1.3. Propiedad “Completado”

Propiedad de selección que indica la etapa de la sesión (Figura 2-5). Su valor condiciona sobre la propiedad “n actual” usado por el modelo “. Con ello se calcula el intervalo correspondiente y se programa el día de la próxima revisión (propiedad “Siguiendo R.”). Al actualizar esta propiedad tras cada sesión, las fórmulas se ajustan y recalculan las propiedades “n' (siguiendo)”, “EF Recomendado” e “Intervalo próximo (días)”.

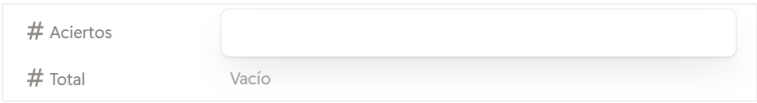


Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-4: Propiedad “Completado” tipo selección.

2.1.1.4. Propiedad “Aciertos” y “Total”

Propiedades de número utilizada para registrar el desempeño del contenido evaluado en cada sesión (Figura 2-5). Aciertos consigna la cantidad de respuestas correctas y Total la cantidad total de preguntas abordadas. Se completan al cierre de la sesión de estudio/repaso.



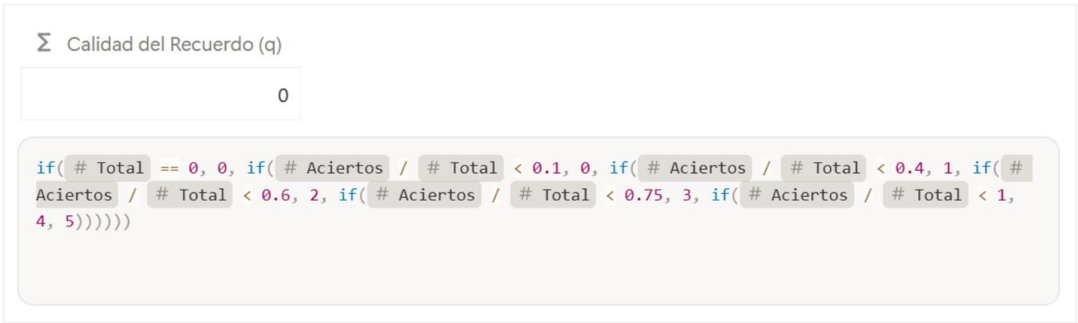
Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-5: Propiedad “Completado” tipo número.

A partir de ambas propiedades se obtiene la proporción de aciertos, que la planilla transforma en la calificación de calidad del recuerdo “q”. La regla exacta de mapeo desde el porcentaje de aciertos hacia “q” se describirá en la propiedad correspondiente

2.1.1.5. Propiedad “Calidad del Recuerdo (q)”

Propiedad de fórmula que a partir de los valores de las propiedades numéricas Aciertos y Total, calcula el porcentaje de respuestas correctas y asigna un valor de “q” entre 0 y 5 (Figura 2-6) según los rangos establecidos por el modelo clásico de SM-2.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-6: Propiedad “Calidad del Recuerdo (q)” tipo fórmula.

2.1.1.6. Propiedad “n Actual”

Propiedad de fórmula que determina automáticamente el número de repetición actual “n” (Figura 2-7) requerido por el modelo SM-2.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-7: Propiedad “n Actual” tipo fórmula.

Su lógica se basa en la propiedad de selección “Completado”:

- Si está vacía o marcada como “Estudio”, asigna $n = 0$.
- Si corresponde a “Repaso k ”, extrae el número k de la etiqueta mediante la formula “replaceAll” y lo convierte en valor numérico.

De esta forma se evita el ingreso manual de “ n ”, se asegura que este correcta la etapa seleccionada y el parámetro del modelo y se entrega la base para el cálculo de las propiedades posteriores.

2.1.1.7. Propiedad “ n' (siguiente)”

Propiedad de fórmula que determina el número de repetición asignado al próximo repaso (Figura 2-8). Si la propiedad “Calidad del Recuerdo (q)” es menor o igual a 2, la propiedad establece “ n' (siguiente) = 0”, reiniciando la secuencia; cuando “ q ” es superior a 2, define “ n' (siguiente) = n Actual + 1”, avanzando a la siguiente repetición. De este modo se automatiza la lógica de progreso o reinicio del modelo SM-2 sin intervención manual, siguiendo de forma exacta lo descrito en la operación esperada del modelo.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-8: Propiedad “ n' (siguiente)” tipo fórmula.

2.1.1.8. Propiedad “ $f(q)$ ”

Propiedad de fórmula que aplica la ecuación cuadrática del modelo SM-2 (Figura 1-4, ecuación 7) utilizando la propiedad “Calidad del Recuerdo (q)” como entrada para su configuración de ajuste. Su valor se emplea directamente en el cálculo de la propiedad “EF recomendado”.

En esta implementación se introduce un ajuste: mientras la propiedad “n Actual” sea menor a 5 se utiliza la fórmula original; a partir del sexto repaso el resultado de “f (q)” se multiplica por 0,5 (Figura 2-9). Este ajuste propuesto tiene por objetivo evitar que los intervalos aumenten desproporcionadamente en etapas avanzadas de repaso, lo que de alguna forma asegura de mejor manera la retención de los contenidos entrenados a largo plazo, ideal buscado para los contextos de capacitación industrial.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-9: Propiedad “f (q)” tipo fórmula.

2.1.1.9. Propiedad “EF recomendado”

Propiedad de fórmula que calcula el factor de facilidad recomendado (EF) a partir de la propiedad de formula “f (q)” y de la repetición actual (Figura 2-10). Mientras el valor de la propiedad “n Actual” es menor a 5, la expresión mantiene el enfoque del modelo SM-2 utilizando un EF basal de 2,5, ajustado por “f (q)” y limitado inferiormente a 1,3 para evitar valores críticos. A partir de la sexta repetición se introduce un ajuste: el EF se calcula con un basal de 2,13 más “f (q)”, manteniendo el mismo límite mínimo.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-10: Propiedad “EF recomendado” tipo formula.

2.1.1.10. Propiedad “Intervalos próximos (días)”

Propiedad de fórmula que determina el número de días hasta el siguiente repaso, a partir de las propiedades “n” (siguiente)” y del “EF recomendado” (Figura 2-11). Para “n” menor o igual a 0 asigna valor 0, indicando la necesidad de repetir de inmediato. Para “n” igual a 1 fija un intervalo de 1 día y para “n” igual a 2 establece 6 días, siguiendo valores estrictos definidos para las primeras exposiciones. Desde “n” igual 3 aplica la expresión exponencial del modelo SM-2 (Figura 1-4, ecuación 5) usando el EF recomendado, calculando el intervalo en función del historial de desempeño. Con esto se combinan primeros intervalos controlados con una progresión automática basada en el desempeño progresivo del sujeto.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-11: Propiedad “Intervalo próximo (días)” tipo formula.

2.1.1.11. Propiedad “Siguiente R.”

Propiedad de fórmula que define la fecha de la próxima revisión. Utiliza la fecha registrada en la propiedad “Estudio” y le suma el valor de la propiedad “Intervalo próximo (días)” utilizando la función dateAdd, ajustando el resultado en un formato de fecha. Si la propiedad Estudio no registra valor, mantiene el campo vacío. Esta propiedad es la que permite generar la visualización operativa de los futuros repastos programados.



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-12: Propiedad “Siguiente R.” tipo formula.

2.1.2. Interfaz para el usuario

La integración del modelo SM-2 por medio de las propiedades descritas en Notion, permite el cálculo automático de los parámetros necesarios para la utilización del modelo. Es así como con datos mínimos necesarios (“Estudio”, “Completado”, “Aciertos”, “Total” y Campo de Identificación del sujeto o tópico) que el usuario llene en cada repaso el sistema determinara automáticamente la calidad del recuerdo, el resultado del factor de facilidad recomendado y el intervalo próximo de estudio en formato fecha.

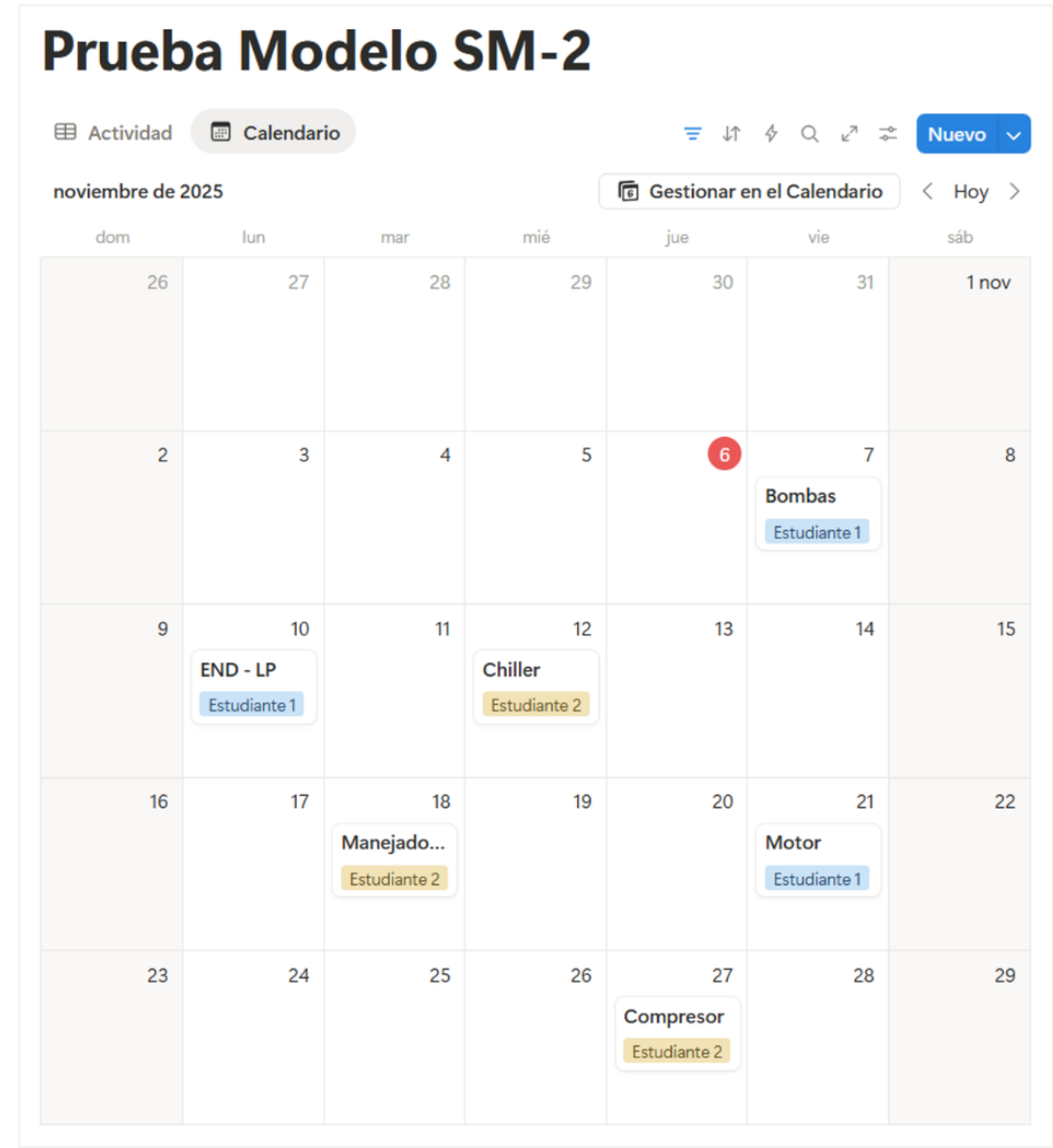
Para operacionalizar esta lógica se definió una vista específica que actúa como interfaz del modelo (Figura 2-13). En dicha interfaz solo se muestran las propiedades que requieren interacción del usuario, mientras que todas las propiedades de cálculo no operables por el sujeto permanecen ocultas y funcionan en segundo plano. De este modo, la planilla se presenta un entorno simple y controlado, adecuado para usuarios no especialistas y coherente con los requerimientos de aplicación del modelo en capacitaciones de mantenimiento industrial



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-13: Interfaz para el usuario.

Todas las actividades registradas en la base de datos se proyectan automáticamente en una vista de calendario (Figura 2-14) configurada con la propiedad “Siguiendo R.”. De esta forma, cada tópico o sujeto ingresado en la base de datos aparecerá en esta vista de calendario permitiendo una calendarización mas operática, logrando visualizar de forma más practica y rápida los días, tópicos y personas que puedan llegar a requerir un entrenamiento de repaso según el modelo. Esto aporta de forma significativa la facilidad para la planificación y seguimiento del programa de entrenamiento



Fuente: Elaboración propia, según captura de la integración SM-2 en Notion.

Figura 2-14: Calendario de próximas actividades

Contando ya con la base de datos en Notion para gestionar los intervalos de repetición espaciada, en los apartados siguientes se seleccionará una actividad formativa piloto alineada con el perfil de egreso del Técnico Universitario en Mecánica Automotriz de la Universidad Técnica Federico Santa María. Dicha actividad se definirá a partir de contenidos de mantenimiento automotriz que puedan ser representados en entornos de realidad virtual mediante una aplicación especializada y vinculados explícitamente con los resultados de aprendizaje de una asignatura específica de la malla. Sobre esta base, se determinará el contenido central, se construirán las tarjetas de Active Recall en Remnote y se utilizará la planilla en Notion para registrar y evaluar el desempeño teórico, el cual será complementado por la actividad práctica simulada, conformando un esquema integrado de aprendizaje.

2.2 SELECCIÓN DE LA ACTIVIDAD PILOTO

Para la selección de las actividad de mantenimiento automotriz piloto se considero primero, aquellas intervenciones que puedan realizarse de manera practica en el entorno de realidad virtual, específicamente dentro de las actividades posibles que ofrece el software Car Mechanic Simulator; en segundo término, se seleccionara la actividad que represente una correspondencia justa con los resultados de aprendizaje declarados en los programas de asignatura de la carrera, lo que lograría el estudio practico y teórico de los contenidos.

2.2.1. Actividad seleccionada de Car Mechanic Simulator

Para efectos de este estudio, se determino como actividad piloto el cambio de neumáticos, que para su selección se aplicaron los siguientes criterios

- Es una de las primeras actividades disponibles por defecto en el software. Las actividades posteriores requieren ser desbloqueadas mediante mayor tiempo de uso y acumulación de experiencia dentro del juego, proceso que no aporta directamente a la construcción del piloto ni al objetivo de evaluar la efectividad del modelo de Spaced Repetition en actividades de mantenimiento.

- Presenta una secuencia operativa clara, acotada y estandarizable (elevación del vehículo, desmontaje, sustitución, montaje y verificación), lo que facilita su descomposición en pasos instruccionales, su traducción a ítems evaluables y la construcción de tarjetas de Active Recall alineadas con la lógica del modelo.
- Ofrece un nivel de complejidad adecuado para una fase inicial de validación, permitiendo focalizar el análisis en la coherencia entre simulación, contenidos teóricos, herramienta de gestión en Notion y esquema de evaluación, antes de trasladar la metodología a intervenciones de mantenimiento más complejas.

Aun cuando corresponde a una tarea básica, el cambio de neumático se encuentra directamente asociado a competencias fundamentales del mantenimiento automotriz, por lo que resulta pertinente como actividad piloto integradora entre simulación, evaluación teórica y práctica, y como referencia metodológica replicable.

2.2.2. Relación con perfil de egreso y programas de asignatura

La selección de la actividad de cambio de neumático como piloto se realizará en directa relación con la asignatura Taller de Mantenimiento Automotriz (MEC245-A) y con el perfil de egreso del Técnico Universitario en Mecánica Automotriz de la Universidad Técnica Federico Santa María. El programa de la asignatura indica, entre sus resultados de aprendizaje, que el estudiante *“mantiene los diferentes sistemas y partes de una unidad automotriz, aplicando procedimientos técnicos y ambientales”* (Universidad Técnica Federico Santa María, RdA2, 2019). he *“integra equipos de trabajo en procesos de mantenimiento, sosteniendo buenas relaciones con pares”* (Universidad Técnica Federico Santa María, RdA3, 2019).

Estos resultados de aprendizaje, al estar contenidos en los programas de asignatura, están alineados directamente con las competencias del perfil de egreso asociadas a la aplicación de procedimientos de mantenimiento en sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos, bajo criterios de seguridad, calidad, trabajo colaborativo y responsabilidad ambiental.

En este contexto, el cambio de neumático si considera como una tarea formativa pertinente para evidenciar la capacidad de aplicar procedimientos técnicos sobre componentes importantes de un vehículo y, a la vez, situar al estudiante en dinámicas de participación en grupos y la transferencia efectiva al puesto de trabajo.

En el apartado 2.3 se diseñarán las tarjetas de Active Recall que estarán directamente relacionadas a los resultados de aprendizaje necesarios para los alumnos, situación que también pasaría en la industria donde es necesario determinar cuales son los requisitos mínimos que debe cumplir un entrenamiento y su evaluación para estar conforme a las exigencias de las actividades por las que fue entrenado.

2.3 DISEÑO DE FLASHCARDS DE LA ACTIVIDAD PILOTO

Las flashcards que se diseñaron en este apartado se vinculan directamente con contenidos técnicos específicos, se consideraron ítems orientados a que los sujetos determinan el momento oportuno para el cambio de un neumático en concordancia de la reglamentación legal existente, es así que se consideran ítems relevantes como el mínimo legal de la profundidad del surco en los neumáticos, reconocer las herramientas necesarias y sus consideraciones con respecto al paso de la actividad por realizar, componentes y etapas críticas del proceso de sustitución (punto de apoyo para elevador o gata, secuencia de aflojado de pernos y su respectivo apriete, torque y secuencia de apriete, verificación final), asegurando también una comprensión acabada de las disposiciones legales ambientales y de manejo de residuos, al considerarse la gestión de neumáticos usados en respuesta a las normativas existentes y buenas practicas de mantenimiento. Todos estos ítems fueron traspasados a preguntas en formato Active Recall, utilizando Remnote, de esta forma con la retroalimentación de cada pregunta y repaso en el tiempo se logre una mayor conexión neuronal relacionada con el recuerdo de los contenidos,

A continuación, se presentarán las preguntas y respuestas específicas que fueron integradas en Remnote para su utilización en el modelo propuesto.

2.3.1. Normativa chilena sobre especificaciones de neumáticos y disposiciones medioambientales

Las siguientes preguntas se formularon a partir de los criterios legales y técnicos sobre el estado mínimo aceptable de los neumáticos, considerando la Ley 18.290, artículo 63, el Manual de procedimiento e interpretación de resultados de revisiones técnicas tipo B, que establece requisitos y condiciones medioambientales necesarias para la disposición de neumáticos según la ley REP (Tabla 2-1).

Flashcards	
Pregunta	Respuesta
¿Cuándo un neumático se considera no apto para circular según la Ley 18.290 art. 63 y el Manual de Revisión Técnica tipo B?	▪ Banda de rodadura desgastada. ▪ Pérdida de adherencia al pavimento. ▪ Reparaciones que afecten la seguridad. ▪ Telas visibles o redibujado inadecuado. ▪ Deformaciones u otros daños estructurales.
¿Cuál es la profundidad mínima permitida en la banda de rodadura según el Manual de Revisión Técnica tipo B?	▪ Mínimo permitido: 1,6 mm de profundidad. ▪ Menor a ese valor; motivo de rechazo en la revisión técnica.
¿Qué debe hacer un usuario o taller con un neumático fuera de uso (NFU) según la Ley REP y su reglamento de neumáticos?	▪ Entregar el NFU a un punto de recepción, taller o sistema de gestión autorizado. ▪ No puede botarlo a la basura común, abandonarlo ni quemarlo (constituyen disposición ilegal sancionable).
¿Qué obligación tiene un local que vende neumáticos frente a los NFU generados por sus clientes?	▪ Debe recibir sin costo los NFU en cantidad equivalente a los neumáticos nuevos vendidos (mismo tipo/categoría). ▪ Debe entregar esos NFU a un gestor o sistema de gestión REP autorizado, con respaldo documental de la entrega.

Fuente: Elaboración Propia, en base a Flashcard implementadas en software Remnote

Tabla 2-1: Flashcard de normativa chilena de estado de neumáticos y aspectos ambientales.

2.3.2. Procedimiento de extracción de rueda

Las siguientes preguntas se orientan al proceso seguro de extracción de la rueda, incorporando prácticas de mantenimiento coherentes con el principio general de seguridad vial y deber de prevención de riesgos (Ley 18.290, uso seguro del vehículo), las recomendaciones de manuales de seguridad para talleres y elevadores de vehículos (por ejemplo, NTP 1082 del INSST y guías equivalentes) y las instrucciones de los manuales de servicio de fabricantes en materia de inmovilización, uso correcto de puntos de apoyo y manipulación de ruedas (Tabla 2-2).

Flashcards	
Pregunta	Respuesta
Describe, en orden secuencial, las condiciones previas e instrucciones de inmovilización del vehículo que deben cumplirse antes de iniciar el cambio de neumático.	1. Estacionar el vehículo en una superficie plana, firme y nivelada. 2. Detener el motor y dejar marcha engranada (o posición “P” en la caja automática). 3. Aplicar el freno de estacionamiento. 4. Instalar cuñas en las ruedas opuestas a la que se va a intervenir para evitar desplazamientos.
¿En qué momento y cómo se debe realizar el aflojamiento inicial de las tuercas o pernos de rueda antes de elevar el vehículo?	1. Con el vehículo aún apoyado completamente en el suelo. 2. Utilizar la llave adecuada para la tuerca o perno de rueda. 3. Aflojar parcialmente (aprox. ¼ de vuelta) cada tuerca o perno, sin retirarlos. 4. Evitar impactos excesivos o herramientas que puedan dañar los elementos de fijación.
¿Dónde y cómo debe apoyarse el vehículo al elevarlo con gato o elevador de taller para realizar el cambio de neumático?	a) Con gato: ubicar solo en puntos de apoyo estructural indicados por el fabricante y elevar hasta despegar completamente la rueda del piso. b) b) Con elevador de taller: apoyar los brazos en puntos estructurales definidos por el fabricante, verificar estabilidad y asegurar el elevador antes de trabajar.
¿Cómo debe retirarse correctamente la rueda una vez que el vehículo está elevado y estable?	1. Retirar completamente las tuercas o pernos. 2. Mantenerlas ordenadas y limpias para su correcta reinstalación. 3. Sostener la rueda con ambas manos por los costados y extraerla en línea recta desde el cubo, evitando golpes o palancas sobre el disco/tambor.

Fuente: Elaboración Propia, en base a Flashcard implementadas en software Remnote

Tabla 2-2: Flashcard del procedimiento de extracción de Rueda.

2.3.2. Procedimiento de colocación de la rueda

Las siguientes preguntas se sustentan en lineamientos técnicos procedentes de manuales de servicio de fabricantes, guías de torque de rueda (Webb Wheel e instructivos equivalentes), boletines técnicos y buenas prácticas de la industria (por ejemplo, Toyota Tech Tips, TSB y documentos de fabricantes), los cuales establecen criterios específicos de montaje, control y aseguramiento de las uniones rueda–masa para garantizar la seguridad operacional del vehículo (Tabla 2-3).

Flashcards	
Pregunta	Respuesta
¿Cuáles son los pasos básicos para lograr la correcta colocación inicial y asentamiento de la rueda en el cubo?	1. Limpiar la superficie de contacto entre cubo y llanta (sin tierra, óxido suelto ni grasa). 2. Alinear los orificios de la llanta con los espárragos o centrador del buje. 3. Desplazar la rueda hasta que asiente completamente contra el cubo, sin luz visible entre llanta y superficie de apoyo
¿Cómo debe realizarse la instalación inicial de las tuercas o pernos de rueda?	▪ Enroscar a mano todas las tuercas/pernos hasta el tope, sin forzar. ▪ Verificar que el tipo de asiento de las tuercas/pernos (cónico, esférico o plano) corresponda al diseño de la llanta. ▪ Asegurar un centrado correcto para evitar cruce de rosca o daño en fijaciones.
¿Cómo debe realizarse el ajuste preliminar de las tuercas o pernos con el vehículo aún elevado?	▪ Con el vehículo elevado y estable. ▪ Ajustar levemente las tuercas/pernos en patrón cruzado (estrella). ▪ Solo asentar la llanta contra el cubo, sin aplicar el par final todavía.
¿Qué pasos se deben realizar para el torque final y la verificación después de colocar la rueda?	▪ Bajar el vehículo hasta que la rueda apoye completamente en el suelo y retirar el gato. ▪ Ajustar las tuercas/pernos en patrón cruzado (estrella) al par de apriete especificado por el fabricante, idealmente con llave dinamométrica. ▪ Recomendar verificar nuevamente el apriete tras recorrer aproximadamente 50–100 km.

Fuente: Elaboración Propia, en base a Flashcard implementadas en software Remnote

Tabla 2-2: Flashcard del procedimiento de extracción de Rueda.

2.4 METODOLOGIA DE UTILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

Con el modelo de Spaced Repetition implementado en Notion, la actividad piloto de cambio de neumáticos seleccionada en realidad virtual y el cambio de rueda en traspasado a flashcards de Remnote, se desarrolló un recurso audiovisual específico que operacionaliza mediante un ejemplo la propuesta desarrollada. En el video se muestra como es la utilización práctica de la planilla desde un punto de vista de usuario que recibe el entrenamiento y es responsable en la gestión de su capacitación en la planilla o desde el punto de vista de un responsable de la capacitación para un grupo de sujetos. En ella se explica la conexión de Notion y Remnote, el llenado de la planilla según los avances de cada etapa de aprendizaje, el criterio para la asignación de preguntas respondidas correctamente y su traspaso a la planilla de Notion y criterios de seguimiento del modelo SM-2

El material cumple así una doble función: guía de uso del sistema integrado Remnote–Notion y evidencia práctica de la aplicación del modelo de Spaced Repetition en el contexto del mantenimiento automotriz.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3. EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1. PARTICIPANTES DEL ESTUDIO PILOTO Y CONVENCIONAL

Para la implementación y evaluación de la metodología propuesta, se trabajará con seis participantes, estudiantes de la carrera de Técnico Universitario en Mecánica Automotriz de la Universidad Técnica Federico Santa María, distribuidos en grupo piloto y grupo control. Con el fin de contextualizar los resultados de la intervención y reducir sesgos asociados a diferencias académicas previas, antes de aplicar la metodología se realizó una caracterización académica inicial basada en el desempeño del primer año de la carrera.

3.1.1. Fuente de datos y criterios de clasificación

La caracterización se construyó a partir de las calificaciones finales por asignatura del primer año y de los programas de asignatura, los cuales permitieron identificar la carga horaria semanal destinada a teoría y laboratorio/taller. Con esta información se asignó, para cada ramo, un peso teórico (figura 3-1, eq. 1) y un peso práctico (Figura 3-1, eq. 2) en función de sus horas semanales, de modo que el rendimiento del estudiante no se evaluara solo por un promedio simple, sino considerando la naturaleza formativa de cada asignatura (mayor componente teórico o mayor componente procedimental práctico).

$$W_{t,i} = \frac{Teoría [Sem]}{Teoría \left[\frac{h}{Sem} \right] + Ayudantía \left[\frac{h}{Sem} \right] + Laboratorio \left[\frac{h}{Sem} \right]} \quad (1)$$

$$W_{p,i} = 1 - W_t \quad (2)$$

Fuente: Elaboración propia en base ponderación de teoría-laboratorio.

Figura 3-1: Peso teórico-práctico por asignatura.

3.1.2. Indicadores contruidos para la clasificación del perfil académico

A partir del mapeo teoría-práctica se calcularon, por estudiante, dos métricas principales:

- Promedio Teórico Ponderado: promedio de notas ponderado por el peso teórico de cada asignatura cursada (figura 3-2, eq. 1).
- Promedio Práctico Ponderado: promedio de notas ponderado por el peso práctico de cada asignatura cursada (figura 3-2, eq. 2).

$$\overline{N}_t = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_{t,i}}{\sum_{i=1}^n W_{t,i}} \quad (1)$$

$$\overline{N}_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_{p,i}}{\sum_{i=1}^n W_{p,i}} \quad (2)$$

Fuente: Elaboración propia en base a ponderación de teoría-laboratorio.

Figura 3-2: Promedio ponderados.

Con el fin de representar ambos resultados en un mismo plano cartesiano y facilitar su comparación, dichos promedios fueron normalizados (Figura 3-3), definiéndose los siguientes índices adimensionales:

$$X = \frac{\overline{N}_t}{100} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\overline{N}_p}{100} \quad (2)$$

Fuente: Elaboración propia en base a normalización de promedios ponderados.

Figura 3-3: Normalización de promedios ponderados.

Donde “X” corresponde al Índice Teórico y “Y” al Índice Práctico. Ambos índices toman valores en el intervalo [0,1], permitiendo una representación homogénea e independiente de la escala de calificación original.

Para definir un umbral intermedio que represente una condición de equilibrio teórico-práctico se definió “ $Y = X$ ”, en donde se represente el desempeño ponderado en ambos componentes. A partir de esta recta central se definieron dos rectas paralelas (Figura 3-4) que delimitan las bandas de tolerancia lateral:

$$Y = X + 0,07 \quad (1)$$

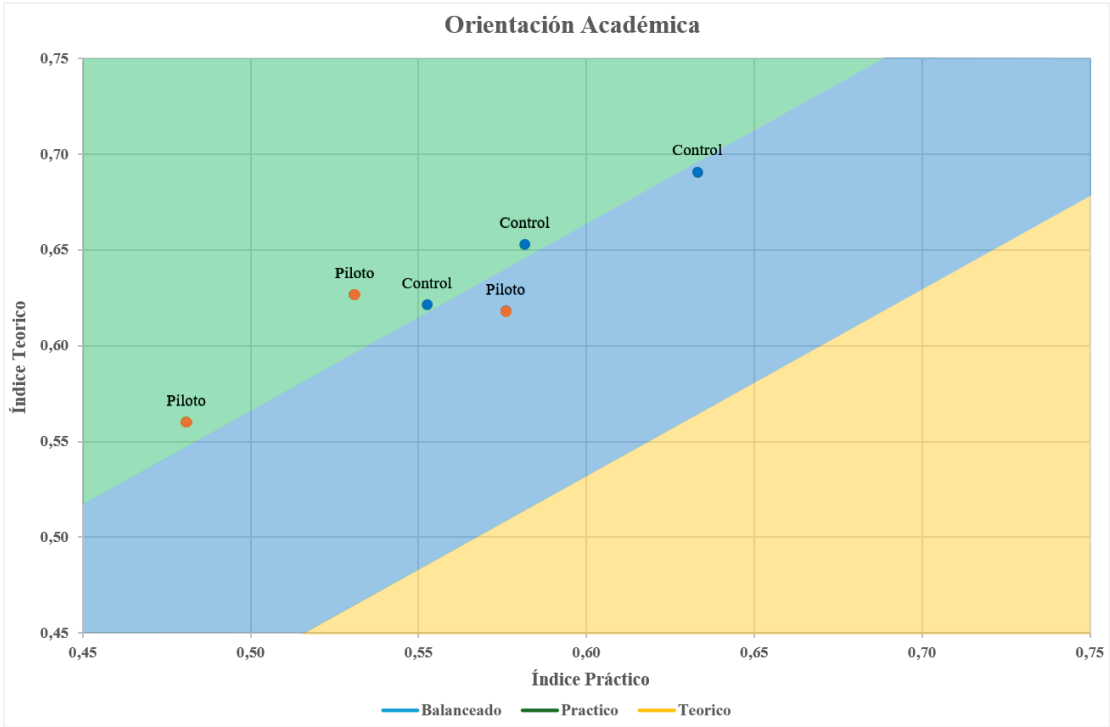
$$Y = X - 0,07 \quad (2)$$

Fuente: Elaboración propia en base a definición de bandas de tolerancia.

Figura 3-4: Definición de bandas de tolerancia.

El valor 0,07 fue determinando mediante un proceso iterativo de prueba y error, en donde se evaluaron distintos umbrales de separación en torno a la recta “ $Y=X$ ”, Para su selección se considero la coherencia que entre la clasificación conseguida y los valores promedios ponderados (teóricos y prácticos) de los sujetos. En específico, se buscó por ejemplo que los estudiantes con un mejor rendimiento ponderado practico quedaran consistentemente ubicados en la franja de orientación practica y de forma símil para las demás orientaciones y ponderaciones. Con este enfoque, el valor de 0,07 permitió obtener la distribución mas acorde que discriminara la orientación académica de los sujetos, evitando inconsistencias entre la orientación académica conseguida y el desempeño académico ponderado.

En el grafico 3-1 muestra el perfil de desempeño teórico-práctico de cada participante. Las zonas coloreadas corresponden a la clasificación de orientación académica definida, de modo que los puntos ubicados sobre el límite superior se interpretan como orientación práctica, los puntos dentro de la banda como balanceados, y los puntos bajo el límite inferior como orientación teórica. Bajo este criterio, la distribución observada es predominantemente práctica, con 4 sujetos clasificados como “Práctico” y 2 sujetos como “Balanceado”, sin casos “Teórico”. Al desagregar por grupo, el grupo piloto queda conformado por 2 prácticos y 1 balanceado, mientras que el grupo control presenta la misma composición (2 prácticos y 1 balanceado), lo que respalda una comparabilidad inicial entre grupos en términos de orientación académico-práctica antes de la intervención.



Fuente: Elaboración propia en base a orientación académica obtenida.

Gráfico 3-1: Orientación académica.

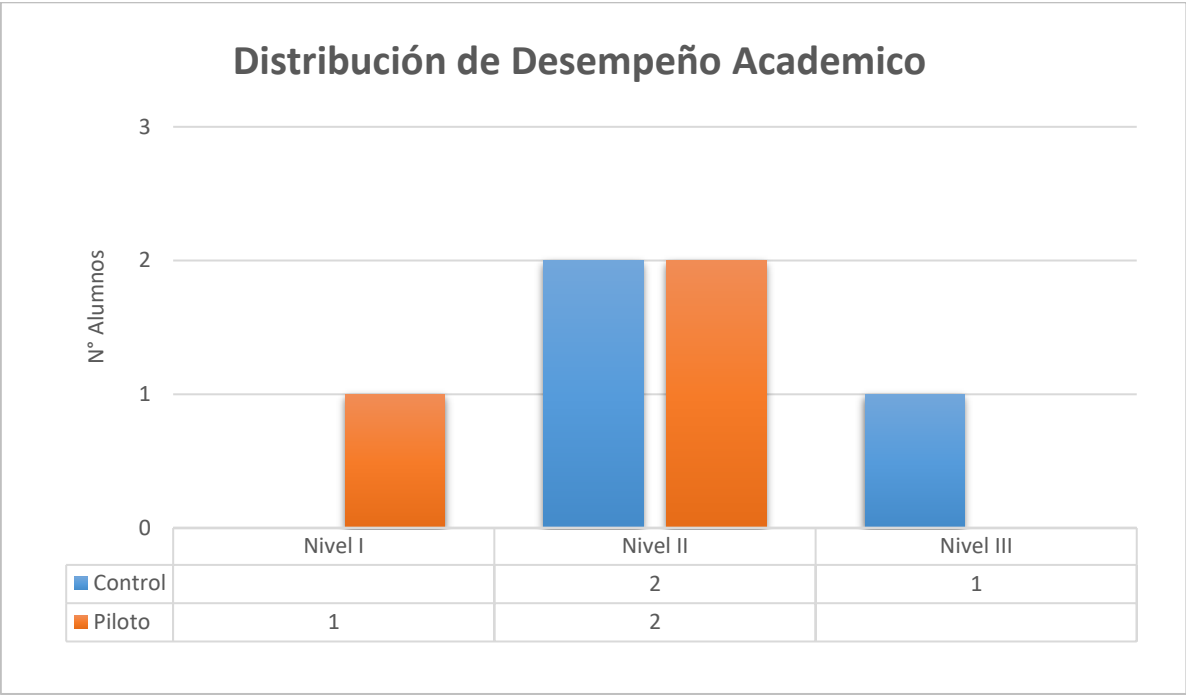
En paralelo, se construyó una clasificación absoluta del desempeño académico a partir del Promedio Global del estudiante y puntos de corte parametrizados (Tabla 3-1). Esta banda absoluta permite interpretar si el estudiante se ubica, en términos generales, en un tramo específico de desempeño “tipo”, independientemente de si su fortaleza es teórica o práctica.

Nivel	Rango de Promedio Global	Caracterización Teórica
Nivel I	< 55	Desempeño insuficiente respecto al estándar mínimo institucional.
Nivel II	≥ 55 y < 65	Desempeño básico, con dominio limitado de los contenidos.
Nivel III	≥ 65 y < 80	Desempeño intermedio–alto, con comprensión y aplicación adecuada.
Nivel IV	≥ 80 y < 90	Desempeño alto, con dominio sólido y consistente.
Nivel V	≥ 90	Desempeño sobresaliente y dominio avanzado de los contenidos.

Fuente: Elaboración Propia, en base a clasificación absoluta de desempeño académico.

Tabla 3-1: Clasificación absoluta de desempeño académico.

El Gráfico 3-2 resume la composición de los participantes según su banda absoluta de desempeño previo y su pertenencia a grupo Control o grupo Piloto. Los resultados muestran una concentración mayoritaria en Nivel II, distribuida de forma equilibrada entre grupos, lo que favorece la comparabilidad basal. Adicionalmente, se observa un estudiante en Nivel I, asignado al Piloto, y un estudiante en Nivel III, asignado al Control. En conjunto, esta distribución indica que ambos grupos quedaron conformados principalmente por sujetos de desempeño intermedio, incorporando en menor proporción casos de desempeño basal y avanzado, lo que permite analizar la intervención minimizando sesgos por diferencias extremas de rendimiento previo.



Fuente: Elaboración Propia, en base a clasificación absoluta de desempeño académico.

Gráfico 3-2: Distribución de desempeño académico.

3.2.DISEÑO METODOLOGICO

El diseño metodológico de la intervención se estructuró con el objetivo de comparar la efectividad de la metodología propuesta contra un enfoque de estudio convencional.

3.2.1. Conformación de los grupos de estudio y referencia

Los seis participantes fueron divididos en dos subgrupos equivalentes, cada uno compuesto por tres estudiantes, garantizando una distribución balanceada en términos de desempeño académico:

- **Grupo piloto:** Este grupo siguió íntegramente la metodología de estudio propuesta. Los participantes utilizaron la planilla de gestión de estudio implementada en Notion, aplicando los repasos de acuerdo con los intervalos definidos automáticamente por el modelo de Spaced Repetition basado en SM-2. Cada vez que la planilla indicaba una instancia de repaso, los sujetos debían realizar el proceso de recuerdo activo (Active Recall) mediante el uso de flashcards diseñadas en el software Remnote, las cuales abordaban los contenidos técnicos asociados al procedimiento de cambio de rueda. Este esquema buscó asegurar la activación deliberada de la memoria a largo plazo en los momentos óptimos definidos por el sistema, integrando planificación, evaluación del recuerdo y ajuste dinámico de los intervalos de estudio.
- **Grupo de control:** Este grupo abordó el estudio del mismo procedimiento técnico mediante lo que se definió como “estudio convencional”, es decir, utilizando las estrategias de aprendizaje que cada participante considera habituales o efectivas en su experiencia personal. Estas prácticas incluyeron, entre otras, la lectura reiterada del procedimiento, la revisión libre de apuntes o materiales entregados y el estudio no estructurado en función del tiempo disponible. Este enfoque representa de manera aproximada la forma más común en que se transmiten y estudian procedimientos técnicos en contextos industriales tradicionales, especialmente en instancias de capacitación donde se entrega documentación para su revisión autónoma.

3.2.2. Instancia practica en realidad virtual

Adicionalmente a las estrategias de estudio teórico, ambos grupos participaron en una instancia práctica común, con el fin de complementar el aprendizaje conceptual con una experiencia operativa controlada. Para ello, se utilizaron lentes de realidad virtual, los cuales fueron empleados por los seis participantes.

La actividad práctica se desarrolló utilizando el software Car Mechanic Simulator (figura 3-5)., descrito previamente en el Capítulo 2. En este entorno, cada participante debió ejecutar de forma individual la actividad de cambio de rueda, siguiendo la secuencia operativa propuesta por el simulador.



Fuente: Elaboración propia, captura de práctico.

Figura 3-5: Instancia practica en realidad virtual

Durante el desarrollo de la actividad, se solicitó explícitamente a cada participante que identificara cualquier diferencia, omisión o variación entre el procedimiento técnico estudiado (procedimiento real) y su representación dentro del entorno de simulación. El objetivo de esta consigna fue fomentar un proceso reflexivo y comparativo, orientado a reforzar las memorias previamente adquiridas, tanto en el grupo experimental como en el grupo de control.

La identificación de estas discrepancias permitió reforzar los contenidos conceptuales y procedimentales asociados a la actividad, activando de manera simultánea memorias declarativas, episódicas y procedimentales. De este modo, la instancia práctica en realidad virtual se integró como un refuerzo transversal del aprendizaje, sin constituirse como una variable diferenciadora entre los grupos,

manteniéndose la metodología de estudio previa como el único factor experimental de comparación.

3.3. INSTRUMENTO DE EVALUACION DE LOS PARTICIPANTES

Con el objetivo de evaluar la retención y comprensión del contenido técnico asociado al procedimiento de cambio de rueda, se diseñó un instrumento de evaluación escrita común para todos los participantes del estudio, independiente de la metodología de estudio utilizada. Este instrumento se aplicó una vez finalizado el periodo de intervención, con el propósito de comparar el desempeño entre el grupo experimental y el grupo de control bajo condiciones equivalentes.

El diseño del instrumento respondió a la necesidad de capturar distintos niveles de aprendizaje, considerando tanto la comprensión integral del procedimiento como la retención de conocimientos teóricos específicos relacionados con normativas técnicas y consideraciones ambientales. En este sentido, la evaluación fue estructurada de manera mixta, incorporando preguntas de desarrollo y preguntas cerradas.

Desde una perspectiva conceptual, esta decisión se fundamenta en la distinción entre memoria declarativa de tipo semántico (conocimientos normativos, conceptos y criterios técnicos) y memoria procedimental y episódica (comprensión de secuencias operativas y toma de decisiones durante la ejecución de una tarea). Evaluar ambos componentes resulta coherente con el enfoque teórico desarrollado en los capítulos anteriores, en los cuales se establece que la consolidación efectiva del conocimiento técnico requiere la integración de múltiples sistemas de memoria y no únicamente la memorización de información aislada.

3.3.1. Evaluación del procedimiento técnico

La primera sección del instrumento de evaluación estuvo compuesta por preguntas de desarrollo, orientadas a que el estudiante describiera de manera estructurada y coherente el procedimiento completo de cambio de rueda, incluyendo sus etapas principales, decisiones críticas y consideraciones de seguridad.

Este tipo de preguntas fue seleccionado debido a que exige al participante reconstruir activamente el procedimiento desde la memoria (figura 3-6), sin apoyo de alternativas predefinidas, lo que permite evaluar el nivel de comprensión profunda de la actividad. A diferencia de preguntas cerradas, las preguntas de desarrollo obligan a organizar la información, establecer secuencias lógicas y explicitar relaciones entre

acciones, lo que constituye un indicador más robusto de aprendizaje significativo y transferencia potencial al contexto real de trabajo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN
Procedimiento de Cambio de Rueda – Mecánica Automotriz

Departamento de
MecánicaUSM
Sede José Miguel Carrera

Sección A

- **Instrucciones:** Responda de forma clara, ordenada y secuencial. Justifique técnicamente cada etapa cuando corresponda.

Pregunta 1

Describa, en orden secuencial, las condiciones previas e instrucciones de inmovilización del vehículo que deben cumplirse antes de iniciar el cambio de neumático.

Pregunta 2

Explique en qué momento y cómo debe realizarse el aflojamiento inicial de las tuercas o pernos de rueda antes de elevar el vehículo, indicando las precauciones asociadas.

Pregunta 3

Explique dónde y cómo debe apoyarse el vehículo al elevarlo con gato o con elevador de taller para realizar el cambio de neumático.

Pregunta 4

Describa el procedimiento correcto para retirar la rueda una vez que el vehículo se encuentra elevado y estable.

Pregunta 5

Indique los pasos básicos para lograr la correcta colocación inicial y asentamiento de la rueda en el cubo.

Pregunta 6

Explique cómo debe realizarse la instalación inicial de las tuercas o pernos de rueda, considerando el tipo de asiento.

Pregunta 7

Describa el ajuste preliminar de las tuercas o pernos con el vehículo aún elevado. (patrón de torque)

Pregunta 8

Explique los pasos finales para el torque definitivo y la verificación posterior una vez colocada la rueda. (patrón de torque)

Fuente: Elaboración propia, captura de instrumento de evaluación.

Figura 3-6: Preguntas de procedimiento práctico.

Desde el punto de vista neurocognitivo, este formato se alinea con prácticas de recuerdo activo, ya que demanda la evocación deliberada de información desde la memoria de largo plazo hacia la memoria de trabajo, reforzando la consolidación de las huellas mnésicas asociadas al procedimiento técnico. Asimismo, permite identificar no solo la presencia o ausencia de conocimiento, sino también errores conceptuales, omisiones relevantes o distorsiones en la secuencia operativa, aspectos críticos en actividades de mantenimiento.

3.3.2. Evaluación de contenidos teóricos.

La segunda sección del instrumento estuvo orientada a evaluar los contenidos teóricos específicos asociados a la actividad piloto, particularmente aquellos relacionados con normativas técnicas, condiciones mínimas de operación y aspectos ambientales vinculados al cambio de neumáticos. Para este propósito se utilizaron preguntas cerradas, con preguntas de selección múltiple.

Este tipo de preguntas permite evaluar de manera más directa la retención de información factual y normativa (Figura 3-7), facilitando la cuantificación de los resultados y su posterior análisis comparativo. Además, al reducir la ambigüedad en la corrección, se favorece la objetividad del instrumento, aspecto relevante considerando el tamaño reducido de la muestra y el carácter piloto del estudio.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN
Procedimiento de Cambio de Rueda – Mecánica Automotriz

Departamento de
MecánicaUSM
Sede José Miguel Carrera

Sección B

- **Instrucción:** Preguntas de selección múltiple / conexión lógica

¿Cuándo un neumático se considera **no apto para circular** según la **Ley 18.290 art. 63** y el **Manual de Revisión Técnica tipo B**?

- Cuando presenta desgaste superficial leve.
- Cuando tiene banda de rodadura desgastada, pérdida de adherencia o daños estructurales
- Solo cuando presenta baja presión de inflado.
- Cuando el neumático tiene más de cinco años de uso.

¿Cuál es la **profundidad mínima permitida** en la banda de rodadura según el **Manual de Revisión Técnica tipo B**?

- 1,6 mm
- 2,0 mm
- 1,8 mm
- 1,2 mm

Un neumático con una profundidad de dibujo inferior al mínimo permitido constituye:

- Una observación leve sin sanción.
- Una condición corregible sin rechazo.
- Motivo de rechazo en la revisión técnica.
- Una recomendación preventiva.

Según la **Ley REP**, ¿qué debe hacer un usuario o taller con un **neumático fuera de uso (NFU)**?

- Almacenarlo indefinidamente en el taller
- Entregarlo a un punto de recepción, taller o sistema de gestión autorizado.
- Disponerlo en basura común.
- Reutilizarlo sin restricciones.

¿Cuál de las siguientes acciones constituye una **disposición ilegal sancionable** de un NFU?

- Entregarlo a un gestor autorizado.
- Almacenarlo temporalmente.
- Derivarlo a un sistema de gestión REP.
- Abandonarlo o quemarlo.

¿Qué obligación tiene un local que vende neumáticos respecto de los **NFU generados por sus clientes**?

- Recibirlos solo si el cliente lo solicita.
- Cobrar un costo adicional por la recepción.
- Recibirlos sin costo en cantidad equivalente a los neumáticos vendidos y entregarlos a un gestor REP autorizado.

Fuente: Elaboración propia, captura de Instrumento de evaluación.

Figura 3-7: Preguntas de contenido teórico.

Si bien se consideraron alternativas de mayor complejidad, como formatos tipo rompecabezas o asociaciones, se optó por mantener un diseño conservador y alineado con prácticas evaluativas habituales en contextos educativos técnicos, privilegiando la claridad, replicabilidad y facilidad de análisis de los resultados

3.3.3. Temporalidad de la evaluación respecto del inicio de la metodología

La evaluación fue aplicada una vez concluido un periodo de cuatro semanas de estudio comenzando el 4 de diciembre y finalizando el 25 de diciembre, durante el proceso los participantes tuvieron la oportunidad de abordar el contenido mediante su respectiva metodología (propuesta o convencional) y de participar en dos instancias prácticas de la actividad piloto (lunes 08 y lunes 22 de diciembre), incluyendo la experiencia en entorno de realidad virtual descrita en el apartado 3.2.2.

Adicionalmente se realizaron reuniones periódicas organizadas por semanas (Figura 3-8) que permitían ir conociendo el avance, coordinación de las actividades prácticas y resolución de dudas.



Fuente: Elaboración propia, calendario en Notion.

Figura 3-8: Calendario de organización y evaluación.

Esta temporalidad fue definida con el propósito de evaluar no solo el aprendizaje inmediato, sino una retención de corto a mediano plazo, permitiendo observar los efectos del refuerzo sistemático mediante Spaced Repetition y Active Recall frente a prácticas de estudio no estructuradas. De esta forma, los resultados obtenidos reflejan el estado de la memoria tras múltiples exposiciones al contenido y no únicamente una respuesta reciente al estudio.

Si bien el alcance de esta investigación se limita a una comparación entre dos grupos bajo condiciones controladas, el diseño del instrumento y de la metodología permite proyectar futuras líneas de investigación, tales como la incorporación de grupos adicionales de comparación. Entre estas posibilidades se consideran, por ejemplo, estudiantes que no hayan estudiado previamente la actividad, estudiantes con experiencia laboral previa en talleres automotrices, o evaluaciones longitudinales aplicadas en cursos superiores de la carrera. No obstante, dichas extensiones quedan fuera del alcance de esta validación y se plantean únicamente como proyecciones para estudios posteriores.

3.4. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología propuesta, considerando tanto el desempeño procedimental como el teórico de los participantes. Para ello, se realiza una comparación entre el grupo piloto y el grupo control, con el fin de identificar diferencias en la comprensión del procedimiento técnico, la retención de contenidos teóricos y el comportamiento global de los sujetos evaluados. Previo al análisis comparativo de los resultados, resulta necesario describir brevemente la estructura de la evaluación aplicada y el modo en que se construyeron los puntajes que alimentan los resultados presentados.

3.4.1. Construcción y alimentación de los resultados del análisis

Los resultados analizados en este capítulo se obtuvieron a partir de una evaluación compuesta por las dos secciones del instrumento de evaluación: una de desarrollo orientada al procedimiento técnico práctico y una evaluación de alternativas orientada a contenidos teóricos y normativos. Esta estructura permitió evaluar de forma separada la comprensión procedimental y la retención de conocimientos declarativos, en coherencia con los objetivos del estudio.

El componente procedimental estuvo conformado por ocho preguntas de desarrollo, cada una con un puntaje máximo de cuatro puntos, estableciendo un total posible de treinta y dos puntos. La corrección de estas preguntas fue realizada por un juez imparcial automatizado (ChatGPT), previamente alimentado con las respuestas correctas y técnicamente más completas. La asignación de puntaje consideró el nivel de detalle de la respuesta, el grado de desviación respecto de las etapas críticas del procedimiento y la presencia o ausencia de pasos preventivos fundamentales, permitiendo otorgar puntajes parciales según la calidad de la respuesta.

Por su parte, el componente teórico estuvo compuesto por seis preguntas de alternativa, cada una con un peso de 1 punto, totalizando un máximo de 6 puntos. En este caso, la asignación de puntaje fue directa, otorgándose el punto únicamente cuando la alternativa seleccionada coincidía con la respuesta correcta previamente definida.

Los resultados individuales obtenidos por cada participante se consolidaron distinguiendo explícitamente entre puntaje procedimental y puntaje teórico, y se presentan en la Tabla 3-2, organizada según grupo de estudio (control o piloto). Esta diferenciación permite analizar de forma precisa el impacto de la metodología propuesta sobre ambos tipos de desempeño, sirviendo de base para el análisis comparativo desarrollado en los apartados siguientes.

Alumno	Grupo	Pts. Desarrollo Procedimental	Pts. Teoría	Desarrollo Procedimental	Teórico	Global
Sujeto 1	Control	19	5	59,38%	83,33%	63,16%
Sujeto 3	Control	23	5	71,88%	83,33%	73,68%
Sujeto 4	Control	16	5	50,00%	83,33%	55,26%
Sujeto 2	Piloto	29	5	90,63%	83,33%	89,47%
Sujeto 5	Piloto	24	5	75,00%	83,33%	76,32%
Sujeto 6	Piloto	25	5	78,13%	83,33%	78,95%

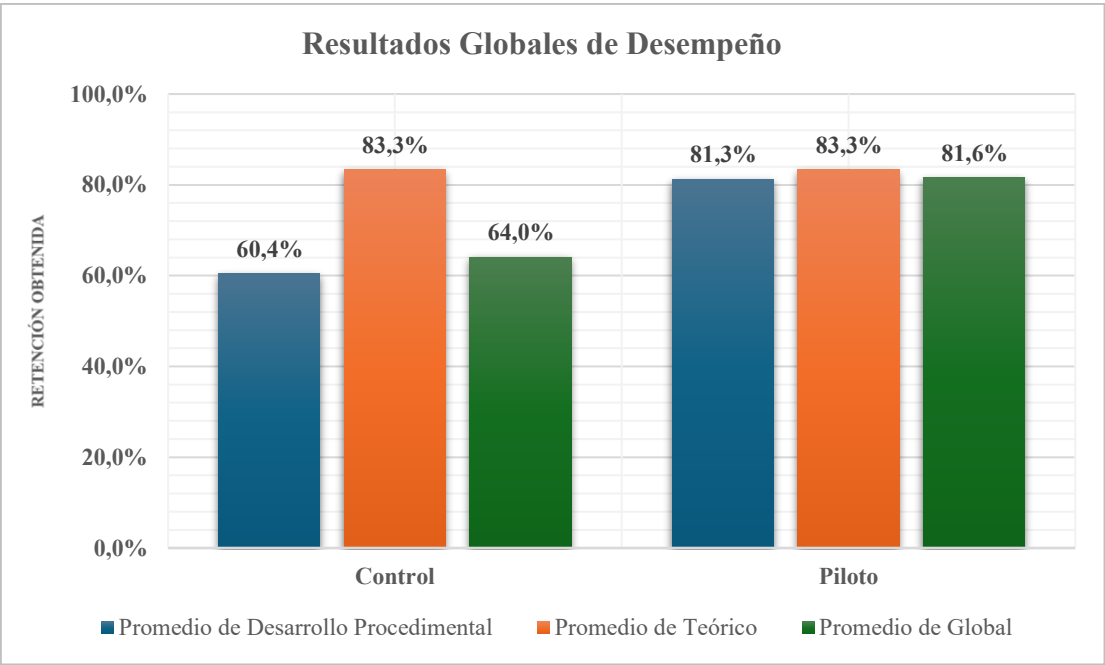
Fuente: Elaboración Propia, en base a los puntajes obtenidos por cada sujeto de prueba.

Tabla 3-2: Puntajes obtenidos por sujetos de prueba.

Cabe señalar que, a partir de los resultados obtenidos en el componente teórico, se observa que todos los sujetos de prueba presentaron al menos un error en las preguntas de alternativa. Sin embargo, dichos errores no se concentraron de manera sistemática en una misma pregunta, por lo que no es posible atribuirlos a una deficiencia específica de la métrica de evaluación ni a una inconsistencia en la fuente de información utilizada para el estudio. En consecuencia, el comportamiento observado sugiere variaciones individuales en la retención de contenidos teóricos, más que un sesgo estructural del instrumento o del material formativo empleado.

3.4.2. Resultados globales de desempeño

El Gráfico 3-3 presenta la comparación de los promedios de desempeño entre el grupo control y el grupo piloto, diferenciando tres dimensiones: desempeño práctico procedimental, desempeño teórico y resultado global. Esta visualización permite identificar de manera integrada el impacto de la metodología propuesta sobre los distintos tipos de desempeño evaluados.



Fuente: Elaboración Propia, en base a resultados globales.

Gráfico 3-3: Resultados globales de desempeño.

Observaciones obtenidas:

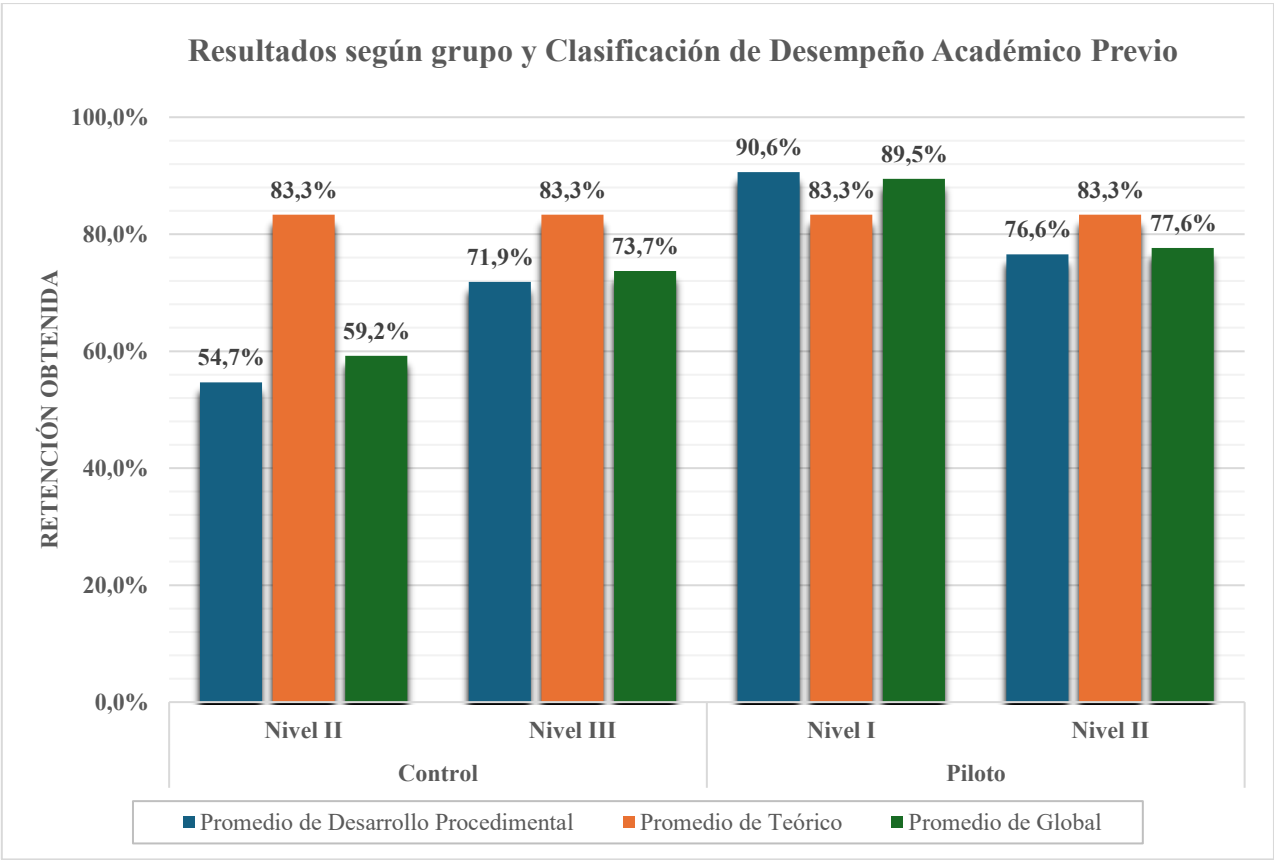
- Se observa que el grupo control presenta un desempeño significativamente inferior en el componente práctico procedimental, alcanzando un promedio aproximado del 60,4 %, mientras que el grupo piloto alcanza un promedio cercano al 81,3 %. Esta diferencia, del orden de 20 puntos porcentuales, evidencia una menor retención y comprensión del procedimiento técnico en los sujetos que siguieron el método convencional, en contraste con aquellos que participaron en la metodología basada en Spaced Repetition, Active Recall y práctica en realidad virtual.

- En relación con el componente teórico, ambos grupos alcanzan valores prácticamente equivalentes. Este comportamiento era esperable, considerando que todos los participantes presentaron al menos un error en las preguntas de alternativa. En consecuencia, el resultado teórico no permite discriminar diferencias relevantes entre ambos grupos ni atribuir variaciones al método de estudio aplicado, funcionando más bien como un elemento de control dentro del análisis global.
- El resultado global refleja de manera directa el comportamiento del componente procedimental. El grupo control alcanza un promedio global cercano al 64,0 %, mientras que el grupo piloto se sitúa en torno al 81,6 %, diferencia que se explica principalmente por el mayor nivel de desempeño en la evaluación práctica del grupo piloto. Dado que el componente teórico presenta puntuaciones homogéneas entre ambos grupos, su influencia en el promedio global resulta secundaria frente al peso del desempeño procedimental.

En conjunto, los resultados globales de desempeño indican que las diferencias observadas entre ambos grupos no se explican por el dominio teórico aislado, sino principalmente por la capacidad de retener, estructurar y ejecutar mentalmente el procedimiento técnico, aspecto central para la formación en mantenimiento automotriz y foco principal de la metodología evaluada.

3.4.3. Resultados según desempeño académico previo

Con el fin de aislar el efecto de la metodología propuesta respecto del rendimiento académico previo de los participantes, los resultados fueron analizados considerando la clasificación académica inicial, estructurada en niveles del 1 al 5, donde el incremento del nivel representa un mejor desempeño académico histórico. Este enfoque permite evaluar en el grafico 3-4 si los resultados observados responden únicamente al perfil previo de los sujetos o si la intervención metodológica introduce variaciones relevantes en la retención del conocimiento.



Fuente: Elaboración Propia, en base a resultados clasificados.

Gráfico 3-4: Resultados según grupo y clasificación de desempeño académico previo.

Observaciones obtenidas:

- En el grupo de control, el comportamiento observado resulta consistente con lo esperado según la clasificación académica previa. En particular, los sujetos clasificados en nivel 3 presentan un mejor desempeño en el promedio de práctico procedimental en comparación con los sujetos de nivel 2, con una diferencia cercana al 20 %. Este resultado indica que, bajo metodologías tradicionales de estudio, la retención de contenidos procedimentales se encuentra fuertemente condicionada por el rendimiento académico histórico, reproduciendo una progresión esperable donde mejores antecedentes académicos se traducen en mejores resultados prácticos.
- El grupo piloto presenta un comportamiento que se aparta del patrón esperado. En este caso, el sujeto clasificado en nivel 1 (desempeño académico previo inferior al 55%) alcanza un nivel de retención procedimental superior al del sujeto clasificado en nivel 2 (rango 55–65 %), con una diferencia cercana al 15 %. Este resultado sugiere que

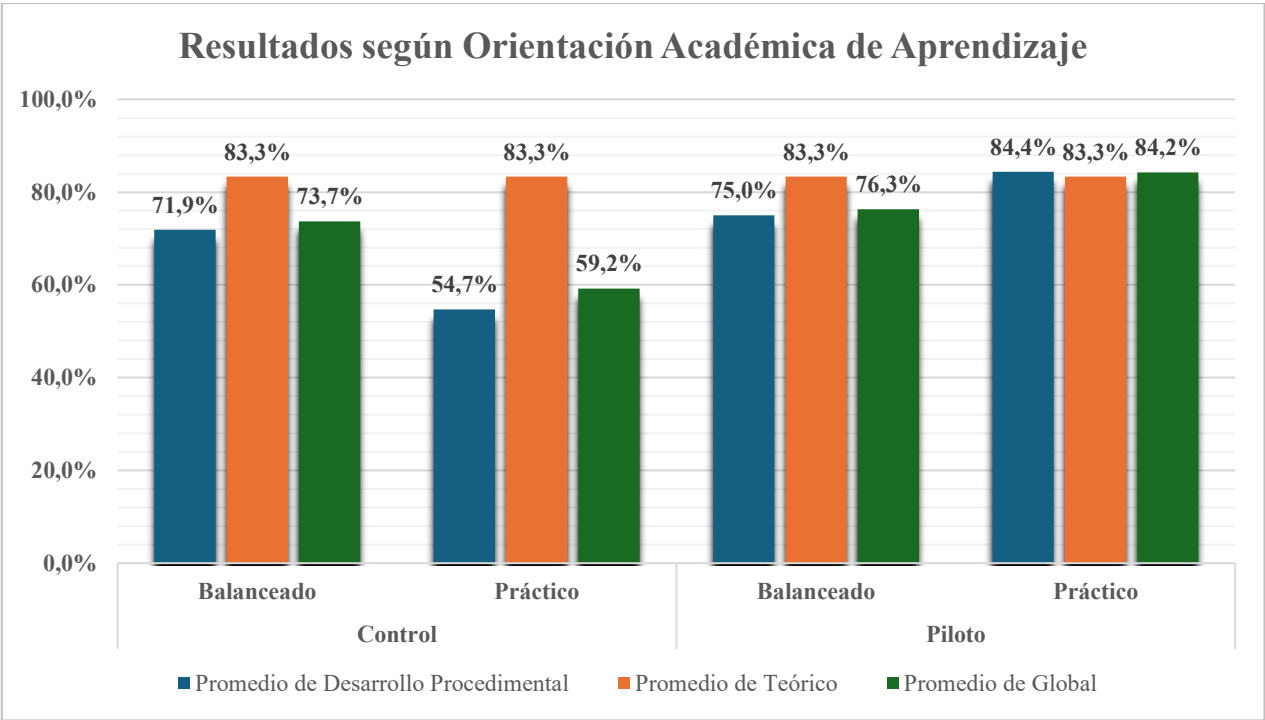
la metodología basada en Spaced Repetition, Active Recall y apoyo en realidad virtual logró potenciar las capacidades de retención del sujeto, o bien incentivar hábitos de estudio más estructurados y efectivos, permitiéndole desmarcarse del desempeño que habría sido esperable según su historial académico previo.

- Al realizar una comparación cruzada entre grupos, se observa un resultado particularmente relevante: el sujeto de nivel 1 del grupo piloto alcanza un mejor desempeño en la retención de contenidos prácticos procedimentales que el sujeto de nivel 3 del grupo de control (correspondiente a un desempeño académico previo entre 65 y 80). Este comportamiento sugiere que la metodología propuesta no solo compensa un bajo rendimiento académico previo, sino que puede incluso superar el desempeño obtenido mediante métodos tradicionales en sujetos con perfiles académicos más elevados.

Desde una perspectiva global, estos resultados indican que, mientras en el grupo de control el desempeño procedimental sigue una lógica dependiente del historial académico, en el grupo piloto dicha dependencia se atenúa de forma significativa. La metodología propuesta parece actuar como un factor modulador del desempeño, reduciendo la brecha entre distintos niveles académicos y favoreciendo una consolidación más robusta del conocimiento procedimental, independientemente del punto de partida del sujeto.

3.4.4. Resultados según orientación académica de aprendizaje

Con el propósito de profundizar el análisis de los resultados y comprender cómo la metodología propuesta interactúa con los distintos estilos u orientaciones académicas de aprendizaje, los participantes fueron clasificados según su orientación predominante, distinguiéndose perfiles balanceados y prácticos. Esta clasificación permite analizar en el gráfico 3-5 si el desempeño observado se ve influenciado por la afinidad natural del sujeto hacia contenidos teóricos, prácticos o una combinación de ambos.



Fuente: Elaboración Propia, en base a resultados clasificados.

Gráfico 3-5: Resultados según grupo y orientación de desempeño académico previo.

Observaciones obtenidas:

- En el grupo de control, se observa que los sujetos con orientación de aprendizaje balanceada alcanzan un mejor desempeño en el promedio de desarrollo procedimental en comparación con los sujetos de orientación práctica, con una diferencia cercana al 20 %. Este comportamiento puede explicarse por una mayor facilidad de los sujetos balanceados para retener y organizar contenidos teóricos, los cuales pueden ser posteriormente transferidos y vinculados a la experiencia práctica desarrollada en el entorno de realidad virtual. En este sentido, la actividad práctica realizada por el grupo de control podría haber operado como un segundo repaso del contenido teórico, reforzando la retención procedimental de aquellos sujetos con mayor afinidad por ambos tipos de aprendizaje.
- el grupo piloto presenta un patrón inverso. En este grupo, los sujetos con orientación académica práctica obtienen un mejor desempeño en la retención procedimental que los sujetos balanceados, con una diferencia cercana al 10 %. Este resultado sugiere que la metodología basada en Spaced Repetition y Active Recall permitió potenciar de manera más efectiva las memorias procedimentales, alineándose con

la orientación natural de aprendizaje de estos sujetos y favoreciendo una consolidación más profunda del conocimiento práctico. La diferencia observada indica una mejora significativa en la capacidad de retención procedimental de los perfiles prácticos cuando se emplea la metodología propuesta.

- Al realizar una comparación entre grupos, se observa que el desempeño de los sujetos con orientación balanceada es relativamente similar en ambos grupos, siendo solo levemente superior en el grupo piloto, con una diferencia aproximada del 3 %. Este resultado sugiere que la metodología propuesta no introduce variaciones sustanciales en sujetos que ya presentan una orientación académica equilibrada, quienes logran desempeños comparables incluso bajo esquemas tradicionales.
- Al analizar específicamente a los sujetos con orientación práctica, se evidencia una diferencia marcada entre ambos grupos. Los sujetos prácticos del grupo piloto presentan una retención procedimental superior en casi 30 % respecto de sus contrapartes del grupo de control. Este hallazgo refuerza la idea de que la metodología propuesta actúa como un facilitador clave para perfiles predominantemente prácticos, permitiéndoles superar las limitaciones observadas bajo metodologías convencionales y alcanzar niveles de desempeño significativamente más altos.

En conjunto, estos resultados indican que la metodología propuesta no solo mejora el desempeño promedio, sino que además interactúa positivamente con la orientación académica de aprendizaje, potenciando especialmente a los sujetos con orientación práctica, quienes suelen presentar mayores dificultades para consolidar contenidos en esquemas formativos tradicionales.

3.4.5. Síntesis de los resultados obtenidos

Con el fin de consolidar los resultados y análisis desarrollados en los numerales anteriores, se presenta a continuación la tabla 3-3 los principales hallazgos obtenidos. Esta síntesis permite visualizar de manera estructurada los patrones observados, las diferencias entre grupos y los factores que influyeron en el desempeño, facilitando una lectura global del impacto de la metodología propuesta.

Dimensión de análisis	Grupo Control	Grupo Piloto	Interpretación principal
Construcción del instrumento	Evaluación coherente, sin sesgos detectables en ítems teóricos	Igual condición evaluativa	Las diferencias observadas no se atribuyen a la métrica de evaluación ni a inconsistencias en las fuentes de estudio
Desempeño práctico procedimental	Promedio bajo (60 %)	Promedio alto (81 %)	La metodología propuesta mejora significativamente la retención procedimental
Desempeño teórico	Homogéneo (83 %)	Homogéneo (83 %)	El componente teórico actúa como variable control, sin discriminar diferencias entre grupos
Resultado global	Dependiente del desempeño práctico	Elevado y estable	El desempeño global está directamente determinado por la retención procedimental
Influencia del desempeño académico previo	Alta dependencia del historial académico	Dependencia atenuada	La metodología reduce la influencia del rendimiento académico previo
Sujetos de bajo desempeño previo	Retención baja	Retención elevada, incluso superior a niveles altos del control	Efecto compensador de la metodología en sujetos con trayectorias académicas débiles
Orientación académica balanceada	Buen desempeño	Desempeño similar	La metodología no altera significativamente perfiles ya equilibrados
Orientación académica práctica	Bajo desempeño	Alto desempeño (+30 %)	La metodología potencia fuertemente perfiles prácticos
Brechas internas de desempeño	Brechas amplias entre perfiles	Brechas reducidas	La metodología tiende a homogeneizar el desempeño

Fuente: Elaboración Propia, en base a resultados obtenidos.

Tabla 3-3: Síntesis de resultados y patrones observados.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo general desarrollar una metodología de entrenamiento replicable para la consolidación del conocimiento técnico en mantenimiento automotriz, basada en Spaced Repetition y Active Recall, integrada en plataformas digitales y simulación en realidad virtual, con el propósito de mejorar la retención y la transferencia práctica del aprendizaje. A partir del desarrollo teórico, metodológico y experimental realizado, es posible afirmar que dicho objetivo fue alcanzado de manera satisfactoria.

En relación con el primer objetivo específico, orientado a fundamentar los principios neurocognitivos del Spaced Repetition y el Active Recall, el Capítulo 1 permitió comprender en profundidad el funcionamiento de la memoria humana, sus tipos, los mecanismos del olvido y los procesos de consolidación del conocimiento. A partir del análisis de la literatura especializada, se logró identificar la memoria procedimental como el tipo de memoria objetivo para el contexto del mantenimiento automotriz y se seleccionó el modelo SM-2 como base matemática del sistema de repetición espaciada, debido a su equilibrio entre simplicidad, adaptabilidad y aplicabilidad industrial. Asimismo, se establecieron criterios claros de diseño del programa de entrenamiento, sustentados en evidencia neurocognitiva y alineados con el requisito 7.7 “Conocimiento” de la norma ISO 55001:2024.

Respecto al segundo objetivo específico, consistente en diseñar la metodología de entrenamiento integrando herramientas digitales y simulación en realidad virtual, el Capítulo 2 permitió materializar la propuesta en un sistema operativo y evaluable. Se diseñó e implementó una planilla de Spaced Repetition en el software Notion, integrando el modelo SM-2 mediante fórmulas automáticas, lo que permitió gestionar intervalos óptimos de estudio de forma intuitiva y replicable. Paralelamente, se construyó un banco de flashcards de Active Recall en Remnote, alineado con contenidos técnicos, normativos, de seguridad y ambientales del cambio de neumático. Además, se seleccionó y justificó una actividad piloto en realidad virtual que, aun siendo de complejidad básica, permitió obtener resultados válidos y extrapolables a tareas de mantenimiento más complejas, manteniendo coherencia con los programas de asignatura y el perfil de egreso del Técnico Universitario en Mecánica Automotriz.

En cuanto al tercer objetivo específico, orientado a evaluar la efectividad de la metodología mediante comparación con prácticas convencionales, el Capítulo 3 permitió diseñar la metodología de aplicación, definir criterios de evaluación y analizar los resultados obtenidos. A través de un estudio piloto con un grupo reducido de estudiantes, se evidenció que la metodología propuesta mejora de manera significativa la retención de contenidos prácticos procedimentales en comparación con métodos tradicionales de entrenamiento. Los análisis mostraron que el desempeño global estuvo fuertemente determinado por la retención procedimental, que la influencia del rendimiento académico previo se atenúa bajo la metodología propuesta y que los sujetos con orientación académica práctica obtienen mejoras especialmente relevantes. Aun cuando el tamaño muestral es acotado y corresponde a una cohorte con desempeño académico regular o bajo, los resultados obtenidos presentan patrones consistentes que permiten considerarlos representativos y extrapolables a poblaciones con características diversas.

De forma global, el estudio demuestra que la integración de Spaced Repetition, Active Recall y simulación en realidad virtual no solo incrementa los promedios de desempeño, sino que introduce un efecto estructural en la consolidación del conocimiento técnico, reduciendo brechas entre distintos perfiles académicos y favoreciendo una transferencia más efectiva del aprendizaje al contexto práctico. En consecuencia, la metodología propuesta se presenta como una alternativa viable, replicable y alineada con los desafíos actuales de la formación técnica y la gestión del conocimiento en entornos industriales.

A partir de los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas durante el desarrollo del estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas:

Ampliación del tamaño muestral: El estudio se realizó con un número reducido de participantes, lo que, desde un punto de vista estadístico, puede introducir sesgos o limitar la generalización de los resultados. Se recomienda que futuras investigaciones consideren un mayor número de sujetos, permitiendo validar la metodología con mayor robustez y aplicar análisis estadísticos de mayor profundidad.

Incorporación de sujetos con condiciones diversas de aprendizaje: Resultaría de alto interés evaluar la efectividad de la metodología en sujetos con condiciones particulares de aprendizaje, tales como TDA, TDAH, trastornos del espectro autista u otras neurodivergencias. En entornos industriales reales, estas condiciones están presentes y los trabajadores igualmente participan en procesos de capacitación, por lo que analizar el impacto de la metodología en estos perfiles permitiría ampliar su alcance inclusivo.

Aplicación en contextos industriales reales: Se recomienda implementar la metodología propuesta en programas de capacitación reales dentro de la industria, con técnicos en ejercicio y tareas de mantenimiento propias del entorno productivo. Esto permitiría evaluar el comportamiento del sistema frente a variables propias del contexto laboral, tales como presión de tiempo, carga operativa, condiciones ambientales y cultura organizacional.

Análisis comparativo de costos de capacitación: Resultaría pertinente realizar un estudio comparativo entre los costos asociados a programas de capacitación tradicionales y los costos de implementación de la metodología propuesta. Dicho análisis permitiría evaluar no solo la efectividad de la gestión del conocimiento, sino también la eficiencia económica del sistema, considerando que la metodología busca asegurar la retención del conocimiento a largo plazo y reducir la necesidad de reentrenamientos frecuentes.

En conjunto, estas recomendaciones abren líneas de desarrollo futuro que permitirían consolidar, escalar y validar la metodología propuesta, posicionándola como una herramienta estratégica para la gestión del conocimiento técnico en la industria.

BIBLIOGRAFÍA.

Baddeley, A. D. (1999). *Memoria humana: teoría y práctica*. Alianza Editorial. (Obra original publicada en inglés como *Human Memory: Theory and Practice*, Psychology Press, 1990).

Ballesteros, S. (1999). *Memoria humana: investigación y teoría*. *Psicothema*, 11(4), 705–723.*

Benjamin, A. S. (Ed.). (2011). *Successful remembering and successful forgetting: A Festschrift in honor of Robert A. Bjork*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203839346>

Borretti. (2024, 27 de diciembre). *Implementing SM-2 in Rust*. Borretti.me. <https://borretti.me/article/implementing-sm2-in-rust>

Borretti. (2025, 10 de enero). *Implementing FSRS in 100 Lines*. Borretti.me. <https://borretti.me/article/implementing-fsrs-in-100-lines>

Dubinsky, J. M., & Hamid, A. A. (2024). *The neuroscience of active learning and direct instruction*. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 163, 105737. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105737>

Gluck, M. A., Mercado, E., & Myers, C. E. (2014). *Aprendizaje y memoria: De la biología al comportamiento* (2ª ed.). McGraw-Hill Education.

Kenhub. (s. f.). *Ganglios basales: Vías directas e indirectas*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/ganglios-basales>

León Correa, E., & Peña Herrera, B. (2022). *Psicología del aprendizaje y la memoria*. Universidad Politécnica Salesiana / Editorial Universitaria Abya-Yala. ISBN: 978-9978-10-656-3

Liu, Y., Naya, Y., & Suzuki, W. A. (2021). *The influence of retrieval practice on memory consolidation*. *eLife*, 10, e57023. <https://doi.org/10.7554/eLife.57023>

Murre, J. M. J., & Dros, J. (2015). Replication and analysis of Ebbinghaus' forgetting curve. *PLoS ONE*, 10(7), e0120644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2009). *La comprensión del cerebro: El nacimiento de una ciencia del aprendizaje* (M. Silva Sthandier, Trad.). Ediciones Universidad Católica Silva Henríquez. (Obra original publicada en 2007 como *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*). ISBN 978-956-7947-92-8

Rudy, J. W. (2014). *The neurobiology of learning and memory* (2nd ed.). Sinauer Associates.

Schacter, D. L. (2001). *The seven sins of memory: How the mind forgets and remembers*. Houghton Mifflin.

Vega Cienfuegos, T. (2023). *Emociones, recuerdos y olvido* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Oviedo]. Facultad de Psicología, Universidad de Oviedo.

Van Hoof, T. J., Madan, C. R., & Sumeracki, M. A. (2021). *Science of learning strategy series: Article 2, retrieval practice. Journal of Continuing Education in the Health Professions*, 41(2), 119–123. <https://doi.org/10.1097/CEH.0000000000000335>

Wikimedia Commons. (s. f.). *Amygdala* [imagen]. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAmygdala.png>

Wikimedia Commons. (s. f.). *Cerebellum* [imagen]. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACerebellum.png>

Wikimedia Commons. (s. f.). *Hippocampus image* [imagen]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AHippocampus_image.png

Wozniak, P. A., & Gorzelanczyk, E. J. (1994). Optimization of repetition spacing in the practice of learning. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 54(1), 59–64. <https://doi.org/10.55782/ane-1994-1003>

Ye, J., Su, J., & Cao, Y. (2022). *A stochastic shortest path algorithm for optimizing spaced repetition scheduling*. En *Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '22)* (pp. 4381–4390). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3534678.3539081>

Yu, H., Liu, Z., & Wu, J. (2018). *Forgetting in order to remember better*. *arXiv preprint arXiv:1812.05668*. <https://arxiv.org/abs/1812.05668>