

Diagnóstico y Mejora del Rendimiento de Equipos de Cómputo en un Laboratorio Escolar: Evidencia Experimental y Percepción Estudiantil en la Escuela Primaria

Diagnosis and Performance Improvement of Computing Equipment in a School Laboratory: Experimental Evidence and Student Perception at Elementary School

Ramírez-Sánchez V. A.¹, Ojeda-Núñez M. I.², Gutiérrez-Montoya J. E.³, Jurado-Bichir L. E.⁴, Hernández-Cuevas A. A.⁵

Datos de Adscripción:

¹ Ramírez Sánchez, Víctor Andrés
Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas Unidad Laguna,
Torreón Coahuila, México
victorramirez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4872-0942>

² Ojeda Núñez, Martha Iveth
Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas Unidad Laguna,
Torreón Coahuila, México
m.ojeda@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-8312-6343>

³ Gutiérrez Montoya, José Eduardo
Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas Unidad Laguna,
Torreón Coahuila, México
jose_gutierrez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0008-0460-8327>

⁴ Jurado Bichir, Lorena Elizabeth
Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas Unidad Laguna,
Torreón Coahuila, México
ljuradobichir@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0003-0122-6853>

⁵ Hernández Cuevas, Alberto Adrian
Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas Unidad Laguna,
Torreón Coahuila, México
hernandez.alberto@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0003-2324-6281>

Resumen - Los laboratorios de cómputo en escuelas públicas mexicanas operan con frecuencia con equipos cuya vida útil supera la década, lo que genera latencias que interrumpen el flujo pedagógico. El presente trabajo evalúa el impacto de aumentar la memoria RAM de 4 GB a 8 GB en un equipo representativo del laboratorio de la Escuela Primaria Luis Donaldo Colosio Murrieta (Coahuila, México). Se empleó una metodología mixta: cuantitativamente, se midieron cuatro indicadores de desempeño —tiempo de arranque, porcentaje de uso de RAM en multitarea, uso del archivo de paginación y tiempo de apertura de aplicaciones— mediante el Administrador de Tareas y el Monitor de Recursos de Windows, aplicando un diseño comparativo antes-después con cinco réplicas por indicador bajo condiciones controladas; cualitativamente, se administró una encuesta estructurada de 18 reactivos a 49 alumnos de quinto y sexto grado. Los registros cuantitativos arrojan una reducción del tiempo de arranque de 97.2 a 58.0 segundos (40.2 %), una caída en la ocupación de RAM del 95 % al 54 % durante la multitarea, una contracción del 96.1 % en el uso del archivo de paginación y un acortamiento del tiempo de apertura de aplicaciones de 18.3 a 7.1 segundos

(61.2 %). Del lado cualitativo, el 79.6 % de los estudiantes manifestó una actitud favorable hacia el aprendizaje mediado por computadora, y la lentitud de los equipos emergió como la principal barrera en las respuestas abiertas. Los resultados demuestran que una actualización puntual de hardware produce beneficios mensurables que justifican su implementación en contextos educativos con recursos limitados.

Palabras Clave: Aula de cómputo, Educación primaria, Evaluación de rendimiento, Memoria RAM, Optimización de hardware.

Abstract - Computing laboratories in Mexican public schools frequently operate with hardware whose service life exceeds ten years, generating operational latencies that disrupt the pedagogical flow. This study evaluates the impact of expanding RAM from 4 GB to 8 GB in a representative workstation at Luis Donaldo Colosio Murrieta Elementary School (Coahuila, México). A mixed methodology was applied: quantitatively, four performance indicators were measured—startup time, RAM usage percentage during multitasking, paging file usage, and application loading time—using the Windows Task Manager and Resource Monitor, under a controlled before-after comparative design with five replications per indicator; qualitatively, a structured 18-item survey was administered to 49 fifth- and sixth-grade students. Quantitative results show a reduction in startup time from 97.2 to 58.0 seconds (40.2 %), a drop in RAM occupancy from 95 % to 54 % during multitasking, a 96.1 % contraction in paging file usage, and a decrease in application loading time from 18.3 to 7.1 seconds (61.2 %). Qualitatively, 79.6% of students expressed a positive attitude toward computer-mediated learning, and equipment sluggishness emerged as the main barrier in open-ended responses. The results show that a targeted hardware upgrade yields measurable benefits that justify adoption in budget-constrained educational settings.

Keywords: Computer lab, Elementary education, Hardware optimization, Performance evaluation, RAM upgrade.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de brecha digital en el contexto latinoamericano, el debate suele concentrarse en el acceso a dispositivos y conectividad; sin embargo, un eje igualmente crítico —y con frecuencia subestimado— es la calidad funcional de los equipos disponibles en los planteles educativos. Una computadora técnicamente obsoleta, que se bloquea en mitad de una actividad o tarda casi dos minutos en mostrar el escritorio, no constituye una herramienta pedagógica efectiva, aun cuando físicamente exista en el aula. Esta dimensión del problema es el punto de partida del presente trabajo.

La literatura especializada ha documentado ampliamente la relación entre el acceso a la tecnología computacional y los resultados de aprendizaje. Clasuer y Schuwirth (2011) señalan que la evaluación mediada por computadora requiere equipos que respondan de forma fluida para no introducir variables ajenas al desempeño del estudiante. En la misma línea, Petri y von Wangenheim (2017) advierten que la experiencia del usuario con el hardware incide directamente en su disposición y capacidad para interactuar con contenidos digitales de naturaleza educativa. Por su parte, Battle (1999) estableció una correlación positiva entre la disponibilidad de computadoras funcionales y el rendimiento escolar, un argumento que cobra especial relevancia cuando se trata de instituciones en las que el laboratorio escolar es el único punto de contacto de los alumnos con hardware de escritorio.

La administración y sostenibilidad de los centros de cómputo en instituciones educativas ha sido objeto de análisis desde distintas perspectivas. Gálvez Sinibaldi (1997) identificó, en el contexto centroamericano, que la ausencia de modelos administrativos formales en los laboratorios escolares conduce inevitablemente al deterioro progresivo de la infraestructura, ya que las decisiones de mantenimiento se toman de manera reactiva en lugar de preventiva. Esta observación sigue siendo pertinente décadas después: Macas Romero (2019) documentó que los centros de cómputo de las unidades educativas en Ecuador presentan patrones análogos de degradación, en los que la falta de diagnósticos periódicos impide detectar cuellos de botella de hardware antes de que afecten el ambiente de aprendizaje. Venegas y de Jesús (2010) plantean que la distinción entre mantenimiento preventivo y correctivo es determinante para la longevidad funcional de los equipos; cuando las instituciones operan exclusivamente en modo correctivo —interviniendo solo ante fallas visibles— los costos acumulados superan con el tiempo a los de una política de actualización selectiva y planificada. En síntesis, la literatura converge en señalar que gestionar adecuadamente un laboratorio de cómputo no es una tarea exclusivamente tecnológica, sino también una tarea organizacional.

Desde la perspectiva técnica, la evaluación de rendimiento de sistemas computacionales constituye una disciplina con décadas de desarrollo. Heidelberg y Lavenberg (1984) sentaron las bases metodológicas del área, mientras que Fortier y Michel (2003) extendieron esos marcos a la predicción y al análisis comparativo de configuraciones. La memoria de acceso aleatorio (RAM) ocupa en esa tradición un lugar protagónico: Anacker y Wang (1967) demostraron que la estructura jerárquica de la memoria tiene consecuencias directas sobre la eficiencia global del sistema. Cuando la RAM resulta insuficiente, el sistema operativo activa el mecanismo de paginación, transfiriendo bloques de datos entre la RAM y el disco duro; dado que un disco

mecánico convencional opera entre 50 y 100 veces más lento que la RAM, esa compensación introduce latencias perceptibles incluso para usuarios no técnicos.

La medición sistemática del rendimiento computacional ha evolucionado hacia plataformas cada vez más sofisticadas. Lucas (1971) sentó las bases conceptuales de la monitorización continua de sistemas, argumentando que la evaluación del desempeño no debe limitarse a momentos de crisis sino integrarse como práctica permanente. Desde ese enfoque seminal, la instrumentación ha avanzado considerablemente: Krishnaswamy y Scherson (2000) propusieron marcos de referencia basados en conjuntos de benchmarks estandarizados que permiten comparar configuraciones de hardware de manera replicable y objetiva, mientras que Vetter et al. (2005) extendieron esos principios hacia entornos de cómputo de alto rendimiento. En el extremo más contemporáneo de este espectro, Sierra Forero (s.f.) desarrolló un sistema modular para la adquisición, gestión y visualización web de métricas de desempeño aplicado al centro de cómputo de alto rendimiento CECAD, demostrando que la recopilación automatizada e integrada de indicadores técnicos —uso de CPU, memoria, red y almacenamiento— permite a los administradores anticipar degradaciones de rendimiento y tomar decisiones de actualización basadas en evidencia, en lugar de operar de manera intuitiva. Aunque el contexto de ese sistema es un entorno de supercómputo universitario, el principio subyacente es igualmente aplicable a escala reducida en laboratorios escolares: contar con métricas concretas y registradas es condición necesaria para justificar cualquier intervención de hardware ante las autoridades institucionales.

La convergencia entre estas dos líneas de trabajo —la pedagógica y la técnica— apunta a una necesidad concreta: los laboratorios escolares requieren tanto un modelo de gestión que contemple ciclos de evaluación periódica como un conjunto mínimo de indicadores cuantitativos que permita diagnosticar el estado real de los equipos. Hernández Brito (2011) subraya que, incluso en ausencia de presupuesto para una renovación integral, estrategias de actualización selectiva de componentes críticos —como la memoria RAM o el almacenamiento— pueden prolongar significativamente la vida útil funcional de un equipo y reducir los costos operativos totales. Esta perspectiva resulta especialmente relevante en el contexto de la educación pública mexicana, donde los recursos asignados al mantenimiento tecnológico suelen ser limitados y las decisiones de inversión deben sustentarse en evidencia cuantificable. Es precisamente en ese espacio —entre la necesidad pedagógica, la restricción presupuestal y la posibilidad técnica— donde se sitúa el presente caso de estudio.

La gestión de los centros de cómputo en entornos escolares ha sido abordada desde distintos ángulos. Gálvez Sinibaldi (1997) propuso modelos administrativos centrados en la eficiencia y la sostenibilidad presupuestal; Macas Romero (2019) documentó el deterioro progresivo de la infraestructura tecnológica en unidades educativas ante la ausencia de actualizaciones periódicas; y Venegas y de Jesús (2010) destacaron que el mantenimiento selectivo de componentes resulta más rentable que la sustitución integral de equipos. Este conjunto de antecedentes constituye el marco teórico desde el cual el presente estudio diseña su intervención.

El caso de estudio se sitúa en el laboratorio de cómputo de la Escuela Primaria Luis Donaldo Colosio Murrieta (turno vespertino), Torreón, Coahuila. Los equipos del aula presentaban un deterioro funcional manifiesto: arranques lentos, congelamientos recurrentes y una respuesta deficiente ante la ejecución simultánea de más de una aplicación. Ante la imposibilidad presupuestal de adquirir hardware nuevo, se planteó una intervención mínima —duplicar la capacidad de RAM— y medir su efecto mediante un protocolo de comparación antes-después con indicadores cuantitativos precisos. Como complemento, se aplicó una encuesta a 49 alumnos de quinto y sexto grado para documentar la percepción estudiantil sobre el uso de la tecnología en el aula y contrastarla con los hallazgos técnicos.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección II detalla el diseño experimental, los indicadores de desempeño seleccionados y el instrumento de encuesta; la Sección III presenta los resultados, tanto cuantitativos como cualitativos, con su análisis e interpretación; la Sección IV expone las conclusiones y las recomendaciones derivadas del estudio.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Caracterización del entorno y del problema

El laboratorio de la Escuela Primaria Luis Donaldo Colosio Murrieta cuenta con veinte estaciones de trabajo de escritorio con las siguientes especificaciones: procesador Intel Core i3-2120 a 3.30 GHz, disco duro mecánico de 500 GB a 5 400 rpm, tarjeta gráfica integrada y sistema operativo Windows 10 de 64 bits. Al inicio del diagnóstico, cada equipo disponía de 4 GB de RAM DDR3 a 1 333 MHz. La observación directa y el registro de incidencias reportados por el docente titular del laboratorio revelaron tres indicios recurrentes: (a) tiempos de arranque que superaban los noventa segundos con frecuencia; (b) bloqueos temporales al abrir un segundo o tercer programa durante la sesión; y (c) actividad intensa y sostenida del disco duro, el cual se podía detectar por el ruido que producía y se podía comprobar mediante el indicador del Administrador de Tareas, incluso cuando el usuario no ejecutaba operaciones de lectura o escritura explícitas.

Este tercer síntoma es técnicamente relevante: indica que el sistema operativo estaba empleando el archivo de paginación como extensión de la memoria RAM —una condición conocida en la literatura como thrashing cuando alcanza cierta intensidad (Lucas, 1971)—, lo que degrada el rendimiento de manera exponencial en equipos con discos mecánicos.

2.2 Hipótesis y diseño comparativo

La hipótesis de trabajo estableció que ampliar la memoria RAM de 4 GB a 8 GB produciría: (1) una reducción estadísticamente significativa en el tiempo de arranque del sistema, (2) una disminución en el porcentaje de ocupación de la RAM durante la ejecución simultánea de aplicaciones educativas típicas, y (3) una disminución significativa en el uso del archivo de paginación, con el consiguiente alivio de la carga sobre el disco duro. Se adoptó un diseño cuasi-experimental de tipo antes-después (pre-test/post-test) con un único equipo seleccionado como unidad de análisis por su representatividad respecto al estado general del aula considerando que las características de los equipos son las mismas. Las variables

independientes fueron la configuración de la memoria RAM (4 GB vs. 8 GB); las variables dependientes, los tres indicadores mencionados, junto con el tiempo de apertura promedio de las aplicaciones.

Para controlar variables externas o distintas a las que se tomaron en cuenta, las mediciones de ambas fases se efectuaron: con la misma cuenta de usuario de Windows (sin personalización adicional), en el mismo horario (entre las 15:00 y las 16:00 h), con la misma lista de aplicaciones instaladas, y sin actualizaciones pendientes ni procesos programados activos. Entre la desinstalación de la memoria de 4 GB y la instalación del módulo de 8 GB, el equipo permaneció apagado durante al menos treinta minutos para garantizar la estabilidad térmica. Esto es vital para evitar fallos del sistema, proteger la integridad de los datos y asegurar un rendimiento óptimo ya que el sobrecalentamiento puede distorsionar las señales eléctricas dentro de los chips de memoria, lo que puede generar corrupción en los datos.

2.3 Indicadores y procedimiento de medición

Se definieron cuatro indicadores cuantitativos:

- *I1 — Tiempo de arranque del sistema operativo (segundos)*: lapso desde el encendido hasta que el escritorio de Windows quedó completamente
- disponible para la interacción del usuario, confirmado por la desaparición del cursor giratorio. Se realizaron cinco mediciones por fase; se descartaron el valor más alto y el más bajo, y se promedió el trío central.

Figura 1

Inicio de Windows 10

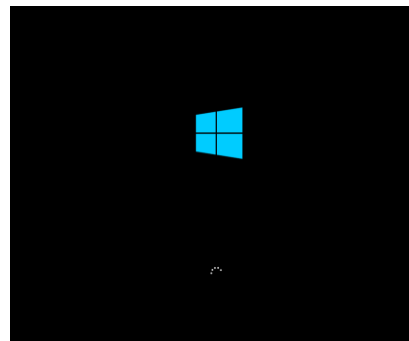
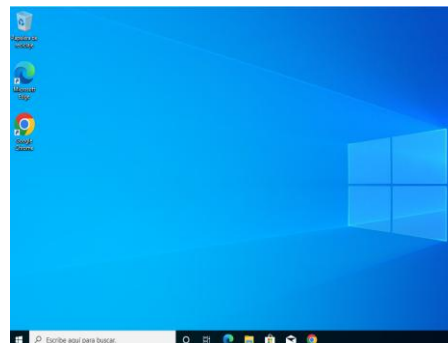


Figura 2

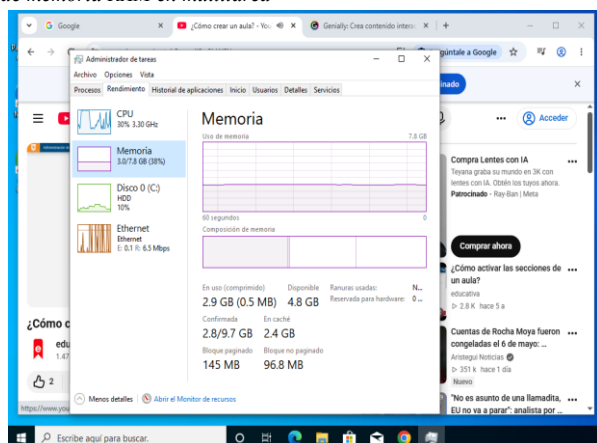
Windows 10 iniciado



- **I2 — Porcentaje de uso de RAM en multitarea (%)**: valor registrado en la pestaña "Rendimiento" del Administrador de Tareas tras abrir simultáneamente Google Chrome (tres pestañas: buscador, YouTube educativo y Genially), Microsoft Word (documento en edición) y Windows Media Player (video local en reproducción). Se tomaron tres muestras por fase con intervalo de cinco minutos.

Figura 3

Uso de memoria RAM en multitarea



- **I3 — Uso activo del archivo de paginación (MB)**: tamaño del conjunto de trabajo paginado reportado por el monitor de recursos de Windows durante la misma sesión de multitarea descrita en I2.
- **I4 — Tiempo promedio de apertura de aplicaciones (segundos)**: promedio del tiempo transcurrido desde el doble clic hasta la pantalla operativa de Chrome, Word y Windows Media Player, medido individualmente en arranque en frío (primer lanzamiento tras un reinicio). Se realizaron tres mediciones por aplicación por fase.

Tabla 1

Especificaciones técnicas de la unidad de análisis en ambas fases del experimento.

Componente	Fase A — 4 GB RAM	Fase B — 8 GB RAM
Procesador	Intel Core i3-2120 @ 3.30 GHz	Sin cambio
Memoria RAM	4 GB DDR3 1333 MHz (1 módulo)	8 GB DDR3 1333 MHz (2 módulos)
Disco de almacenamiento	HDD 500 GB, 5400 rpm	Sin cambio
Sistema operativo	Windows 10 Pro 64-bit (22H2)	Sin cambio
Archivo de paginación	Automático (gestionado por SO)	Sin cambio
Costo de intervención	—	≈ \$350 MXN (~\$18 USD) por módulo

2.4 Instrumento de encuesta estudiantil

Simultáneamente con las pruebas de hardware, se diseñó una encuesta estructurada orientada a captar tres dimensiones de la experiencia del alumnado: (a) acceso y disposición tecnológica en el hogar, (b) modalidad y frecuencia de uso de las computadoras en el aula, y (c) percepción subjetiva del aprendizaje mediado por la tecnología. El instrumento constó de 18 reactivos de opción múltiple y 2 preguntas abiertas de respuesta corta; fue administrado en formato digital mediante Google Forms durante junio de 2025. Participó la totalidad de los alumnos presentes en las aulas de quinto grado ($n = 24$) y de sexto grado ($n = 25$), lo que permitió una muestra completa de 49 estudiantes, con una distribución de género equilibrada (51.0 % femenino, 49.0 % masculino).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desempeño cuantitativo del hardware

La Tabla 2 presenta los valores promedio obtenidos para cada indicador en ambas fases, junto con la magnitud del cambio registrado. Las diferencias observadas superan con creces el umbral de variabilidad natural estimado a partir de las mediciones de control.

Tabla 2

Resultados comparativos de los cuatro indicadores de rendimiento entre las configuraciones de 4 GB y 8 GB de RAM.

Indicador	Fase A (4 GB)	Fase B (8 GB)	Variación
I1 — Tiempo de arranque (s)	97.2 s	58.0 s	-39.2 s (-40.2 %)
I2 — Uso de RAM en multitarea (%)	95 %	54 %	-41 p.p.
I3 — Archivo de paginación activo (MB)	≈ 1,240 MB	≈ 48 MB	-96.1 %
I4 — Apertura de aplicaciones* (s)	18.3 s	7.1 s	-11.2 s (-61.2 %)

* Promedio de Chrome, Word y Windows Media Player en arranque en frío.

El indicador I1 es el de mayor impacto pedagógico directo. Tomando como referencia una sesión de 50 minutos, el tiempo perdido en el arranque colectivo de los equipos pasaría de aproximadamente 3.2 minutos a 1.9 minutos por equipo; en un laboratorio de veinte unidades operadas de forma simultánea, esto significa recuperar hasta 26 minutos-equipos de actividad efectiva por sesión, lo que equivale a multiplicar por décadas el efecto si se considera el ciclo escolar completo.

El indicador I2 merece un análisis especial porque explica causalmente el comportamiento de los demás indicadores. Con 4 GB de RAM y el sistema operativo Windows 10 consumiendo en reposo entre 1.8 y 2.2 GB, abrir tres aplicaciones educativas moderadas bastaba para llevar la memoria RAM al 95 % de ocupación. En ese umbral, el sistema operativo recurre intensamente al mecanismo de paginación —traslada bloques de datos desde la memoria RAM al disco duro y los recupera a medida que se solicitan—. Dado que los discos mecánicos operan con tiempos de acceso del orden de los milisegundos (3–10 ms), frente a los nanosegundos de la memoria RAM, la degradación del rendimiento percibido es radical. Fortier y Michel

(2003) describen este fenómeno como el principal cuello de botella en sistemas con jerarquías de memoria desbalanceadas, conclusión que los datos de este caso ilustran con nitidez.

Con 8 GB de memoria RAM, la ocupación se estabilizó en el 54 % en el mismo escenario de multitarea, lo que deja un margen operativo de casi el 46 % para procesos adicionales del sistema. El archivo de paginación, que registraba 1,240 MB activos en la Fase A, se contrajo a apenas 48 MB en la Fase B —una reducción del 96.1 %—, lo que equivale a su desaparición práctica como factor limitante. Este hallazgo es congruente con lo reportado por Anacker y Wang (1967) sobre el papel de las jerarquías de memoria en la eficiencia global de los sistemas computacionales.

El indicador I4 —tiempo de apertura de aplicaciones— captura el efecto de los tres anteriores desde la perspectiva del usuario final: la apertura de una aplicación desde disco requiere escrituras y lecturas de memoria RAM; si la memoria RAM está saturada y el sistema debe desalojar otras páginas al disco para alojar las nuevas, el proceso depende de la velocidad del almacenamiento secundario. Al eliminar esa dependencia, el tiempo de apertura se redujo un 61.2 %, pasando de 18.3 a 7.1 segundos.

3.2 Percepción estudiantil: resultados de la encuesta

La Tabla 3 sintetiza los resultados de los reactivos más relevantes del instrumento de encuesta. Los porcentajes han sido redondeados al décimo más próximo.

Tabla 3

Distribución de respuestas en los reactivos clave de la encuesta aplicada a 49 estudiantes (n = 49).

Reactivo	Categoría de respuesta principal	Porcentaje
¿Cuentas con computadora o tableta en casa?	Sí	75.5 %
¿Tu hogar tiene acceso a internet?	Sí, de manera continua	81.6 %
¿Usan computadoras en el salón de clases?	Sí, con cierta frecuencia	42.9 %
¿Usan computadoras, pero raramente o nunca?	Casi nunca / Nunca	51.0 %
¿Te gusta aprender con computadora? (favorable)	Me gusta mucho + un poco	79.6 %
¿Aprendes más rápido con computadora? (afirmativo)	Sí, mucho/un poco más	75.5 %
¿Consideras importante usar computadoras para aprender?	Importante + muy importante	67.4 %
Preferencia de trabajo escolar con computadora	Computadora sola o con libros	73.5 %

(exclusivo o mixto)		
Reglas claras sobre uso de tecnología en el hogar	Sí, reglas definidas	42.9 %
Tiempo diario de uso en casa ≥ 1 hora	1–2 h o más de 2 h	79.6 %

Varios hallazgos de la encuesta merecen atención particular. En primer lugar, el 75.5 % de los alumnos declaró tener acceso a algún dispositivo en casa, pero el análisis detallado de tipo de equipo revela que el dispositivo predominante es el teléfono celular de un adulto del hogar, no una computadora de escritorio. Esto refuerza el papel del laboratorio escolar como espacio donde los alumnos adquieren competencias en el uso de hardware convencional —teclado, ratón, monitor—, lo que hace que la calidad funcional de esos equipos sea determinante para su formación.

En segundo lugar, el 51.0 % de los encuestados reportó que en su salón de clases utilizan computadoras raramente o nunca, lo cual contrasta con el dato de infraestructura (el laboratorio existe y cuenta con equipos). La explicación más lógica, reforzada por las respuestas abiertas, es que la lentitud de los equipos desalienta su uso frecuente: expresiones como "que tarda en entrar", "se traba todo" y "que tarde mucho en cargar" aparecen de manera recurrente como la principal dificultad señalada. Esta relación entre la deficiencia técnica y la reducción del uso pedagógico es coherente con lo documentado por Macas Romero (2019) en unidades educativas con infraestructura tecnológica deteriorada.

En tercer lugar, el 79.6 % de los estudiantes manifestó una actitud positiva hacia el aprendizaje con computadora (suma de las categorías "me gusta mucho" y "me gusta un poco"), y el 75.5 % percibió que aprende igual o mejor con apoyo tecnológico. Estos porcentajes sugieren una disposición favorable que el entorno técnico actual no aprovecha plenamente. Russell (1999) ya advertía que la actitud del estudiante hacia la tecnología como herramienta de evaluación y aprendizaje depende en buena medida de la confiabilidad del equipo disponible; equipos lentos o inestables pueden generar aversión tecnológica donde existía una predisposición positiva.

La triangulación entre ambas fuentes de datos —indicadores técnicos y encuesta estudiantil— ofrece una visión integral del problema y su solución. La mejora considerable en el hardware (reducción del tiempo de arranque, eliminación del thrashing de disco y apertura más rápida de aplicaciones) aborda directamente la barrera que los propios alumnos identificaron como la principal limitación para el uso efectivo del laboratorio.

3.3 Análisis de viabilidad económica

El costo del módulo adicional de RAM DDR3 de 4 GB en el mercado de segunda mano de la región ronda los 350 pesos mexicanos por unidad. Aplicar la mejora a los veinte equipos del laboratorio representaría una inversión total aproximada de \$7,000 pesos (alrededor de 360 dólares estadounidenses al tipo de cambio vigente en 2025), sin incurrir en gastos de mano de obra especializada dado que la instalación de memoria RAM es una tarea de mantenimiento básico documentada por Venegas y de Jesús (2010). En contraste, la adquisición de un equipo de

escritorio nuevo de gama media oscila entre \$12,000 y \$18,000 pesos, lo que significa que la intervención propuesta cuesta entre 39 y 58 veces menos que la renovación de todos los equipos del laboratorio. Hernández Brito (2011) plantea que estrategias de actualización selectiva permiten extender la vida útil funcional del hardware entre tres y cinco años adicionales, tiempo más que suficiente para justificar la inversión y planificar una renovación ordenada.

Esta dimensión económica tiene particular importancia en el contexto de la educación pública mexicana, donde los presupuestos de mantenimiento tecnológico son habitualmente escasos y las decisiones de inversión deben rendir cuenta de un impacto por peso gastado claramente demostrable. Los datos de este estudio proveen precisamente ese respaldo empírico.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo partió de una pregunta práctica - ¿puede una actualización mínima de hardware transformar el rendimiento de equipos de cómputo envejecidos en un entorno educativo? - y la respondió con evidencia cuantitativa precisa. Los cuatro indicadores de desempeño medidos mostraron mejoras de entre el 40 % y el 96 % tras duplicar la capacidad de memoria RAM, y las respuestas abiertas de la encuesta estudiantil confirmaron que la lentitud de los equipos era el problema más percibido y mencionado por los usuarios finales.

Desde el plano técnico, el hallazgo más significativo es la práctica desaparición del archivo de paginación como mecanismo operativo activo: con 4 GB, el sistema destinaba más de 1,200 MB a memoria virtual sobre disco; con 8 GB, ese valor cayó a 48 MB. Esa diferencia explica, de manera suficiente y sin necesidad de cambios adicionales, la aceleración observada en el arranque, la multitarea y la apertura de aplicaciones.

Desde el plano pedagógico, los minutos recuperados en cada sesión y la eliminación de los bloqueos que interrumpían el trabajo de los alumnos constituyen ganancias reales en tiempo efectivo de clase. Una inversión de 350 pesos por equipo, que se traduce en un laboratorio funcional durante potencialmente tres a cinco años adicionales, representa una relación costo-beneficio difícilmente igualable por cualquier otra intervención de infraestructura tecnológica.

Como líneas de trabajo futuro se identifican tres direcciones prioritarias:

1.- Extender el protocolo de medición a todos los equipos del laboratorio para construir una línea base institucional con benchmarks estandarizados ya que el presente estudio empleó un único equipo representativo como unidad de análisis, decisión justificada por la homogeneidad de las especificaciones del laboratorio y por las restricciones operativas de la intervención. Sin embargo, la variabilidad entre unidades individuales —diferencias en el desgaste físico de los módulos de RAM, fragmentación acumulada del disco, historial de actualizaciones del sistema operativo o temperatura de operación— puede introducir dispersión en los resultados que este diseño no captura. Una segunda fase del proyecto debería replicar el protocolo de medición en los veinte equipos del aula, registrando los cuatro indicadores definidos (I1–I4) bajo las mismas condiciones controladas. Con ese conjunto de datos sería posible construir una línea base institucional expresada como distribuciones de valores en lugar de promedios puntuales, identificar los equipos con peor desempeño relativo que

requieren intervención prioritaria y calcular benchmarks comparables con los reportados en la literatura sobre evaluación de rendimiento (Krishnaswamy & Scherson, 2000; Vetter et al., 2005). Esta línea base también serviría como punto de referencia para evaluar el deterioro futuro de los equipos y planificar ciclos de mantenimiento preventivo, en línea con las recomendaciones de Sierra Forero (s.f.) sobre la monitorización continua como herramienta de gestión.

2.- Combinar la ampliación de memoria RAM con la sustitución del disco mecánico por una unidad de estado sólido (SSD), cuyo impacto en los tiempos de arranque y apertura de aplicaciones podría ser aún más pronunciado ya que los datos obtenidos en este estudio muestran que la RAM fue el cuello de botella dominante en la configuración de 4 GB; eliminarlo redujo el tiempo de arranque un 40.2 % y el de apertura de aplicaciones un 61.2 %. No obstante, ambos indicadores siguen siendo dependientes de la velocidad de lectura del disco duro, que, con sus 5 400 rpm, presenta tasas de transferencia secuencial de entre 80 y 120 MB/s, muy inferiores a los 500–550 MB/s que ofrece una unidad SSD SATA de gama de entrada —disponible en el mercado local por aproximadamente 400–600 pesos mexicanos en capacidades de 120 a 240 GB—. La literatura técnica documenta que la combinación de RAM suficiente y almacenamiento en estado sólido produce efectos sinérgicos: la RAM elimina la paginación en condiciones normales de uso, mientras que el SSD reduce drásticamente los tiempos de carga inicial de aplicaciones y del propio sistema operativo, que involucran transferencias masivas desde el almacenamiento secundario que ninguna cantidad de RAM puede evitar por completo (Fortier & Michel, 2003). Una intervención combinada RAM+SSD en los equipos del laboratorio —con un costo total estimado de entre 750 y 950 pesos por unidad— podría reducir el tiempo de arranque a menos de 20 segundos, transformando cualitativamente la experiencia de inicio de sesión en cada clase. Se recomienda diseñar esta segunda intervención como un experimento de dos factores que permita desagregar la contribución independiente y conjunta de cada componente, aportando así evidencia más granular a la literatura sobre la optimización del hardware en entornos educativos.

3.- Diseñar un seguimiento longitudinal del desempeño académico de los alumnos durante un ciclo escolar con equipos optimizados, para vincular la mejora técnica con indicadores de aprendizaje medibles. La presente investigación demuestra que la mejora del hardware es técnicamente efectiva y perceptible para los alumnos, pero no establece un vínculo causal entre dicha mejora y el aprendizaje medido. Cerrar esa brecha constituye la línea de trabajo con mayor potencial de impacto científico y político. Se propone diseñar un estudio cuasi-experimental de alcance longitudinal que abarque un ciclo escolar completo, en el que un grupo de alumnos trabaje con los equipos optimizados y un grupo de comparación lo haga en condiciones equivalentes, pero sin intervención de hardware. Las variables de resultado podrían incluir calificaciones en la asignatura de Tecnología, tasas de finalización de actividades en el laboratorio, tiempo efectivo de trabajo registrado por el docente y resultados en pruebas estandarizadas aplicadas en entorno digital. Este diseño permitiría responder preguntas que el presente trabajo deja abiertas: ¿los alumnos que disponen de equipos más ágiles completan más actividades por sesión? ¿La reducción de interrupciones técnicas se traduce en mayor concentración y menor frustración reportada? ¿El efecto varía

según el grado escolar o el nivel de familiaridad previa con la tecnología? Battle (1999) estableció correlaciones entre disponibilidad tecnológica y rendimiento escolar, y Petri y von Wangenheim (2017) subrayaron la importancia de evaluar la experiencia de aprendizaje en entornos digitales; un seguimiento longitudinal en este laboratorio permitiría aportar evidencia local y contextualizada a ese cuerpo de conocimiento, generando datos relevantes para la toma de decisiones de política educativa en el nivel municipal y estatal.

V. AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación fue posible gracias a la disposición y apertura de las autoridades, docentes y alumnado de la Escuela Primaria Luis Donaldo Colosio Murrieta (turno vespertino), quienes facilitaron el acceso al laboratorio de cómputo y la aplicación de los instrumentos de recolección de datos en un ambiente de colaboración genuina. Su participación no se limitó a permitir el acceso físico al espacio: la información compartida por el docente titular del laboratorio sobre los síntomas recurrentes de los equipos fue determinante para orientar el diagnóstico inicial y definir los indicadores de medición más pertinentes.

También queremos agradecer a la Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Sistemas, Unidad Laguna, y a sus autoridades por el respaldo institucional brindado. El apoyo de esta casa de estudios al desarrollo de la investigación aplicada en contextos educativos reales refleja su compromiso con la generación de conocimiento que trasciende el aula universitaria y aporta soluciones concretas a las comunidades de su entorno.

VI. REFERENCIAS

- Anacker, W., & Wang, C. P. (1967). Performance evaluation of computing systems with memory hierarchies. *IEEE Transactions on Electronic Computers*, (6), 764–773.
- Battle, P. A. J. (1999). Home computers and school performance. *The Information Society*, 15(1), 1–10.
- Clauser, B. E., & Schuwirth, L. W. (2011). The use of computers in assessment. En *International handbook of research in medical education* (pp. 757–792). Springer Netherlands.
- Fortier, P. J., & Michel, H. (2003). *Computer systems performance evaluation and prediction*. Digital Press.
- Gálvez Sinibaldi, P. E. (1997). *Propuesta para un modelo administrativo de un centro de cómputo dedicado a la enseñanza* [Tesis doctoral, Universidad del Valle de Guatemala].
- Heidelberger, P., & Lavenberg, S. (1984). Computer performance evaluation methodology. *IEEE Transactions on Computers*, 100(12), 1195–1220.
- Hernández Brito, C. É. (2011). *Virtualización como una estrategia para reducir costos de operación en centros de cómputo* [Tesis doctoral].
- Iosup, A., Ostermann, S., Yigitbasi, M. N., Prodan, R., Fahringer, T., & Epema, D. (2011). Performance analysis of cloud computing services for many-tasks scientific computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 22(6), 931–945.
- Krishnaswamy, U., & Scherson, I. D. (2000). A framework for computer performance evaluation using benchmark sets. *IEEE Transactions on Computers*, 49(12), 1325–1338.
- Lucas, H. (1971). Performance evaluation and monitoring. *ACM Computing Surveys*, 3(3), 79–91.
- Macas Romero, G. E. (2019). *Infraestructura tecnológica de los centros de cómputo de las unidades educativas de Santo Domingo*.
- Petri, G., & von Wangenheim, C. G. (2017). How games for computing education are evaluated? A systematic literature review. *Computers & Education*, 107, 68–90.
- Russell, M. K. (1999). *Testing on computers: A follow-up study comparing performance on computer and on paper*. Boston College.
- Sierra Forero, S. (s.f.). Sistema modular de adquisición, gestión y visualización web de métricas de desempeño para centros de cómputo de alto rendimiento. Caso de estudio CECAD.
- Venegas, G., & de Jesús, R. (2010). *Mantenimiento preventivo y correctivo de centro de cómputo, TV, video e internet satelital*.
- Vetter, J. S., De Supinski, B. R., Kissel, L., May, J., & Vaidya, S. (2005). Evaluating high-performance computers. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 17(10), 1239–1270.

No.	Rol	Descripción
1	Conceptualización [Conceptualization]	Alberto Adrián Hernández Cuevas
2	Curación de datos [Data curation]	Alberto Adrián Hernández Cuevas
3	Análisis formal [Formal analysis]	Victor Andrés Ramírez Sánchez
4	Obtención de fondos [Funding acquisition]	Victor Andrés Ramírez Sánchez Martha Ivet Ojeda Núñez José Eduardo Gutiérrez Montoya Lorena Elizabeth Jurado Bichir
5	Investigación [Investigation]	Alberto Adrián Hernández Cuevas
6	Metodología [Methodology]	Martha Ivet Ojeda Núñez
7	Administración del proyecto [Project administration]	José Eduardo Gutiérrez Montoya
8	Recursos [Resources]	Martha Ivet Ojeda Núñez
10	Supervisión [Supervision]	Martha Ivet Ojeda Núñez
11	Validación [Validation]	Victor Andrés Ramírez Sánchez
12	Visualización [Visualization]	Victor Andrés Ramírez Sánchez
13	Redacción - borrador original [Writing – original draft]	Victor Andrés Ramírez Sánchez
14	Redacción - revisión y edición [Writing – review & editing]	Martha Ivet Ojeda Núñez