

Computer Numerical Control for Latin American Metalworkers: Analysis of a Training Intervention

Echeverría-Guzmán Ángel, Ph. D.^{1,2}, Rumbaut, Dayron. M. Sc.¹, Mérida-Córdova Ennio. M. Sc.¹, Arcentales Torres Jan, Ing.³, Marcano Dotan Simón, Ph. D.⁴, Tolozano Lapierre Gabriela. M. Sc. ^{1,2}

¹Universidad Bolivariana del Ecuador, (UBE)

²Instituto Superior Universitario Bolivariano de Tecnología, (ITB)

³Dirección de formación Constante “Empresa Torno Arcentales-Torres”

⁴Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José De Sucre, (UNEXPO)

Abstract– Industrial digitalization requires highly skilled personnel in Computer Numerical Control (CNC) to address the challenges of precision and automation associated with Industry 4.0. The purpose of this study was to evaluate the impact of a training intervention focused on CNC in order to strengthen the professional competencies of metal mechanics in Guayaquil and Caracas. Methodologically, a quantitative approach with a quasi-experimental design was applied under the ADDIE instructional model. The program was delivered in a hybrid modality over 100 academic hours with 109 participants. The dimensions assessed included technical knowledge, design/simulation, and practical application, using a Likert-type questionnaire. The main results showed statistically significant differences ($p < .001$) across all dimensions after the intervention. When evaluated by the trainers, the experimental group reached “strongly agree” levels in technical mastery, whereas the control group maintained ratings of disagreement from the trainers. It is concluded that the program achieved its objective, demonstrating that it is an effective tool for standardizing competencies and improving professional performance in the industrial sector

Keywords-- Metalworking, Computer Numerical Control, Training Intervention, ADDIE.

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA METALMECÁNICOS DE LATINOAMÉRICA: ANÁLISIS DE UNA INTERVENCIÓN FORMATIVA

Echeverría-Guzmán Ángel, Ph. D.^{1,2}, Rumbaut, Dayron. M. Sc.¹, Mérida-Córdova Ennio. M. Sc.¹,
Arcentales Torres Jan, Ing.³, Marcano Dotan Simón, Ph. D.⁴, Tolozano Lapierre Gabriela. M. Sc. ^{1,2}

¹Universidad Bolivariana del Ecuador, (UBE)

²Instituto Superior Universitario Bolivariano de Tecnología, (ITB)

³Dirección de formación Constante “Empresa Torno Arcentales-Torres”

⁴Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José De Sucre, (UNEXPO)

Resumen— La digitalización industrial exige personal altamente capacitado en Control Numérico Computarizado (CNC) para afrontar los retos de precisión y automatización de la Industria 4.0. Este estudio tuvo como propósito evaluar el impacto de una intervención formativa centrada en CNC para fortalecer las competencias profesionales de metalmecánicos en Guayaquil y Caracas. Metodológicamente, se aplicó un enfoque cuantitativo con diseño cuasi-experimental bajo el modelo instruccional ADDIE, desarrollado en modalidad híbrida durante 100 horas académicas con 109 participantes. Se evaluaron dimensiones de conocimientos técnicos, diseño/simulación y aplicación práctica mediante un cuestionario tipo Likert. Los principales resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < .001$) en todas las dimensiones tras la intervención. El grupo experimental, al ser evaluado por los formadores, alcanzó niveles de «totalmente de acuerdo» en su dominio técnico, a diferencia del grupo de control que mantuvo valoraciones de desacuerdo por parte de los formadores. Se concluye que el programa cumplió su objetivo, demostrando ser una herramienta efectiva para estandarizar competencias y mejorar el desempeño profesional en el sector industrial

Palabras clave— Metalmecánica, Control Numérico Computarizado, Intervención Formativa, ADDIE.

I. INTRODUCCIÓN

La globalización y los grandes cambios tecnológicos que han marcado el ritmo de la producción industrial en los últimos años, ha llevado a considerar al siglo XXI como la era de la digitalización y la automatización [1] [2]. Estos avances exigen cada vez más personal altamente capacitado, ya que los puestos de trabajo son más demandantes, requiriendo conocimiento no solo de cómo operar una máquina, sino también de cómo programarla.

Es en este punto, donde la industria del mecanizado no se ve excluida, por el contrario, se incluye en ese ritmo de producción, adoptando herramientas avanzadas como la robótica, la inteligencia artificial, la nanotecnología, las herramientas de cerámica metalizada y el fresado por láser [3]. La incorporación de la computación impulsó una transición hacia la civilización de los microprocesadores, integrando tecnologías clave como el Control Numérico Computarizado (de aquí en adelante: CNC), AUTOCAD y CAD/CAM en las máquinas-herramienta, lo que permite su manejo desde una computadora.

Estas tecnologías son esenciales para los sistemas de fabricación altamente autónomos, debido a que el sector industrial está constantemente sometido a exigencias de mayor precisión [4], diseños más complejos, diversidad de productos que hacen necesarias estructuras de producción más flexibles, y tiempos de entrega cada vez más reducidos.

Algunos estudios que pueden servir como antecedentes de investigación, reflejan un enfoque dual en los procesos del CNC. Por un lado, se tiene una línea [5] [6] [7] enfocada en la

eficiencia de recursos y costos en la fabricación, incluyendo intentos de predecir el consumo energético de los programas de Control Numérico (NC) mediante la aplicación de modelos de Machine Learning (ML), como redes neuronales o regresión, y el uso de marcos analíticos que evalúan el consumo energético asociado a comandos G específicos. Por otro lado, dada la importancia esencial del CNC en los sistemas de fabricación altamente autónomos, existe una línea de investigación [2] [8] [9] [10], que se centra en abordar la necesidad de personal altamente capacitado, reconociendo que los roles exigen no solo saber cómo operar una máquina, sino también cómo programarla.

En este contexto, hay que advertir que, en Latinoamérica el uso de la tecnología CNC presenta una adopción fragmentada y desigual, concentrándose principalmente en economías líderes como Brasil y México, seguidos por Chile, Colombia y Argentina [11] [12]. Mientras que el mercado regional de manufactura inteligente muestra una proyección de crecimiento importante hacia el futuro, las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) enfrentan barreras críticas como la falta de capital, el acceso limitado a financiamiento y una baja preparación tecnológica inicial [13]. A pesar de estos retos, la implementación del CNC es reconocida en la región como una herramienta indispensable para aumentar la producción y la competitividad, permitiendo un mecanizado más eficiente y preciso de piezas complejas en comparación con los métodos manuales convencionales [14].

Una realidad persistente en el contexto latinoamericano es la escasez de personal altamente calificado y los elevados costos de mantenimiento de las máquinas [15], que a menudo quedan obsoletas por falta de soporte técnico o licencias costosas [16]. Ante esta situación, instituciones académicas y centros de

investigación en países como México, Venezuela y Ecuador han implementado estrategias para restaurar maquinaria antigua mediante software alterno y utilizan tecnologías de realidad extendida para la capacitación de operadores, reduciendo así los riesgos de accidentes y los gastos en materiales [17]. Sin embargo, la falta de una integración sólida entre las estrategias nacionales de tecnología y las políticas industriales sigue dificultando que el avance técnico se traduzca en una modernización equitativa para todo el sector metalmeccánico regional [18]

Por tanto, la problemática, para Latinoamérica y de modo específico Ecuador y Venezuela, se agudiza, según los antecedentes descrito anteriormente, en dos direcciones: por un lado, lo discontinuado en temas de innovación que se encuentra el sector industrial con la poca incorporación de maquinarias de última tecnología, y; por otro lado, en la falta de mano de obra capacitada, es decir, individuos que sean formados y tengan esas competencias profesionales que tanto se necesita en el sector industrial.

Es por esta razón que, el presente estudio tiene como propósito evaluar el impacto de una intervención formativa centrada en CNC orientada a fortalecer las competencias profesionales de los metalmeccánicos de las ciudades, Guayaquil y Caracas, la cual busca dar respuesta a la pregunta que rige el estudio ¿En qué medida la implementación de una intervención formativa centrada en CNC influye en el fortalecimiento de las competencias profesionales de los metalmeccánicos de las ciudades, Guayaquil y Caracas?

II. METODOLOGÍA

Con el fin de dar respuesta al objetivo planteado por los investigadores, la presente investigación se enmarcó bajo un paradigma positivista cuantitativo, centrándose en la comparación objetiva de resultados de aprendizaje entre dos grupos. Contó con un diseño cuasi experimental, definido por algunos autores como “aquel que se enfoca en la manipulación de variables, pero carece de asignación aleatoria en los grupos de estudio” [19] pues los participantes pertenecían a grupos académicos previamente conformados, sin asignación aleatoria. Por ello, se empleó, la ruta metodológica diseñada bajo el modelo instruccional ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) el cual es ampliamente conocido por su enfoque sistémico para desarrollar programas educativos efectivos [20], donde cada fase se adoptó para dar cumplimiento a la misma.

2.1 Fase de análisis

En esta fase los investigadores recopilaron información sobre el *statud quod* que se está presentando en la ciudad de Guayaquil y Caracas con respecto al uso del CNC en el sector metalmeccánico. En total participaron 109 personas, tal como se muestra su distribución en la tabla 1, agrupados de la siguiente manera:

- Grupo experimental: 78 participantes, los cuales son metalmeccánicos y formaron parte del proceso formativo centrada en CNC
- Grupo de control: 31 participantes los cuales son metalmeccánicos y no formaron parte del proceso

formativo.

La muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, seleccionada en función de la accesibilidad y disponibilidad de los participantes [21]. Es menester indicar que, los mismos forman parte de un proceso formativo que responde a una acción del proyecto de investigación titulado “Brecha entre la formación académica y las demandas de la Industria 4.0 y 5.0: un enfoque desde la formación continua y las microcredenciales en la Educación Superior Técnica” de la Universidad Bolivariana del Ecuador y que se desarrolló en conjunto con la empresa “Torno Arcatales Torres” la cual no sólo se dedica a brindar servicios metalmeccánicos sino también de capacitar a los operarios del sector industrial.

Dichos participantes al momento de ser inscrito en la intervención formativa, fueron entrevistados por los formadores a fin de conocer el estado actual de sus competencias profesionales en el uso del CNC, cuyos resultados evidenciados, fueron los siguientes:

- Brecha tecnológica y productiva: los participantes manifiestan que sin formación en CNC presentan dificultades al enfrentarse a los requerimientos actuales del mercado, que exige precisión milimétrica, estandarización, entre otros.

- Limitaciones para adaptarse a la automatización industrial: lo evidenciado implica que la transformación digital, el uso de software CAD/CAM y la robotización demandan operarios capaces de interpretar código y operar equipos automatizados.

- Limitación para competir en mercados más exigentes: los participantes manifiestan que los talleres y operarios sin CNC presentan dificultades para ingresar a sectores que exigen tolerancias estrechas, trazabilidad y certificaciones.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE LOS PARTICIPANTES EXPERIMENTAL Y CONTROL

Grupo	País	Participantes por Paralelo			Total
		I	II	III	
Experimental	Ecuador	17	18	15	50
	Venezuela	8	10	10	28
Control	Ecuador	5	7	6	18
	Venezuela	4	4	5	13

Fuente: Autores (2026)

En conclusión, este escenario evidencia la urgencia de programas de formación que fortalezcan competencias profesionales, por lo que, esta fase permitió a los investigadores identificar las necesidades particulares de los participantes, ofreciendo directrices para la construcción de la siguiente fase.

2.2 Fase de diseño y desarrollo

A partir del análisis efectuado, se diseñó un plan de intervención formativo, tal como se muestra la tabla 2, centrado en desarrollar competencias profesionales para metalmeccánicos de Guayaquil y Caracas, de tal manera que comprendan el funcionamiento del sistema CNC y su importancia. Además del diseño computarizado, simulación, generación de código G y el manejo de la máquina-herramienta. La fase de desarrollo incluyó la creación de materiales didácticos interactivos en la plataforma Moodle.

TABLA II
DISEÑO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN CNC

Unidad I: Introducción al CNC				
Objetivo: Conocer al CNC y su importancia para el sector industrial y educativo				
Contenido	Actividades	Objetivo terminal	Recursos	Responsables
- Generalidades del CNC. - Softwares utilizados en el CNC. - Control Fanuc. - Asistentes auxiliares: Solid Works y AutoCAD.	Realizar taller de socialización para conocer el CNC.	Al término de esta unidad el participante será capaz de comprender la importancia que tiene el CNC para el sector industrial y educativo.	- Sala de computación - Aula-taller - Equipo de proyección.	- Especialista en CNC. - Participantes
Unidad II: Diseño en programa de dibujo. Solid Works y AutoCAD.				
Objetivo: Comprender la importancia e influencia del dibujo computarizado para el CNC.				
Contenido	Actividades	Objetivo terminal	Recursos	Responsables
- Generalidades del diseño mecánico. - Introducción al Solid Works y AutoCAD - Herramientas de croquis - Extruir y corte	Socializar contenido de diseño. Tareas prácticas. En función del diseño de placa, tuercas, bloque escalonado y tridimensional.	Al término de esta unidad el participante podrá dibujar piezas básicas en cualquiera de los programas estudiados, empleando los comandos necesarios para ellos.	- Sala de computación - Aula-taller - Equipo de proyección.	- Especialista en CNC. - Participantes
Unidad III: Simulación de maquinado con CAMWorks				
Objetivo: Establecer rutas de maquinado para tornos y fresadoras por generación del Código G.				
Contenido	Actividades	Objetivo terminal	Recursos	Responsables
- Simulación de maquinado y generalidades. - Comandos necesarios para la simulación del maquinado.	Socializar contenido de simulación. Tareas prácticas. En función de la simulación de piezas tipo cajeras	Al término de esta unidad el participante tendrá la habilidad para crear y generar el código G.	- Sala de computación - Aula-taller - Equipo de proyección.	- Especialista en CNC. - Participantes
Unidad IV: Generación de Código G.				
Objetivo: Generar código G en los lenguajes de programación más usado				
Contenido	Actividades	Objetivo terminal	Recursos	Responsables
El código G y sus modos de implementarse.	Socializar contenido de Código G y los distintos tipos de software. Tareas prácticas. Operaciones básicas en código G.	Al término de esta unidad el participante tendrá la capacidad de crear el código G en el software de CAMWorks usando los comandos necesarios.	- Sala de computación - Aula-taller - Equipo de proyección.	- Especialista en CNC. - Participantes
Unidad V: Manejo de máquina-herramienta con CNC				
Objetivo: Identificar la funcionalidad del equipo para el desarrollo de prácticas profesionales				
Contenido	Actividades	Objetivo terminal	Recursos	Responsables
- Reconocimiento de máquinas herramientas con CNC. - Normas de seguridad industrial para su uso. - Funcionalidad del equipo.	Vincular y familiarizar a los participantes con las máquinas CNC. Tareas prácticas. Diseño y construcción de piezas por CNC.	Al término de esta unidad los participantes tendrán la capacidad de reconocer las máquinas CNC, su funcionalidad y podrán operarlas para crear piezas.	- Sala de computación - Aula-taller - Equipo de proyección.	- Especialista en CNC. - Participantes

Fuente: Echeverría et al., (2024) Referencia [2]

2.3 Fase de implementación y evaluación

La capacitación contó con una duración de 100 horas académicas y se llevó a cabo cumpliendo la totalidad de 5 módulos formativos, donde los contenidos fueron adaptados a la realidad local y grupo objetivo, bajo un enfoque contextualizado con casos reales.

En cuanto a la implementación, la misma se llevó a cabo

durante el año 2025 con tres grupos formativos, identificados por paralelo, manteniendo los tres aspectos del aprendizaje, a saber, aprendizaje en contacto con el docente, aprendizaje autónomo y práctico experimental. Teniendo en cuenta que la modalidad fue híbrida, se desarrolló de la siguiente manera:

- Virtualidad: dos encuentros semanales de 18H30 a 20H00, dando una totalidad de 4 horas académicas.

- Presencialidad: un encuentro los días sábados de 08H00 a 12H30, dando un total de 6 horas académicas.

Para la evaluación de la intervención formativa, a los participantes se le aplicó un cuestionario contentivo con 12 ítems, agrupados en 3 dimensiones, y dichas respuestas estaban diseñadas bajo la escala de Likert, donde 5: Totalmente de acuerdo; 4: De acuerdo; 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 2: En desacuerdo y 1: Totalmente en desacuerdo.

La confiabilidad del mismo estuvo determinada por la fórmula de Alfa de Cronbach obteniendo un resultado de 0.88, considerada por algunos autores [21] como un resultado muy alto. Y su validez estuvo determinada por el juicio de expertos que es una forma esencial para validar los contenidos del instrumento [21].

TABLA III
INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Dimensiones	Question	Items
Conocimientos Técnicos	Q1	Domina los fundamentos teóricos básicos relacionados con la operación de máquinas CNC.
	Q2	Comprende los parámetros esenciales para configurar un torno o fresadora CNC.
	Q3	Identifica correctamente herramientas de corte y materiales adecuados para el mecanizado.
	Q4	Reconoce los códigos G y M utilizados en programación CNC.
Desempeño en diseño y simulación	Q5	Es capaz de elaborar diseños usando SolidWorks/AutoCAD.
	Q6	Puede interpretar croquis y modelos 3D para mecanizado.
	Q7	Puede simular rutas de mecanizado mediante CAMWorks.
	Q8	Se considera capacitado para crear piezas básicas digitalizadas.
Aplicación práctica y operación de máquinas CNC	Q9	Identifica las partes de una máquina CNC y su función.
	Q10	Puede operar la máquina CNC siguiendo procedimientos adecuados.
	Q11	Puede realizar tareas básicas de programación mediante Código G.
	Q12	Es capaz de fabricar una pieza sencilla mediante CNC.

Fuente: Autores (2026)

Todos los participantes fueron informados sobre los detalles del estudio y su participación fue informada, consentida, anónima y voluntaria. Por razones de protección de datos, la encuesta en línea estaba abierta únicamente a personas mayores de 18 años inscritas en programa de intervención formativa. Los procedimientos de esta encuesta cumplieron con las disposiciones de la Declaración de Helsinki para la investigación con participantes humanos [22] y fueron aprobados por los comités éticos de las instituciones involucradas en el estudio.

III. RESULTADOS

3.1 Análisis descriptivos

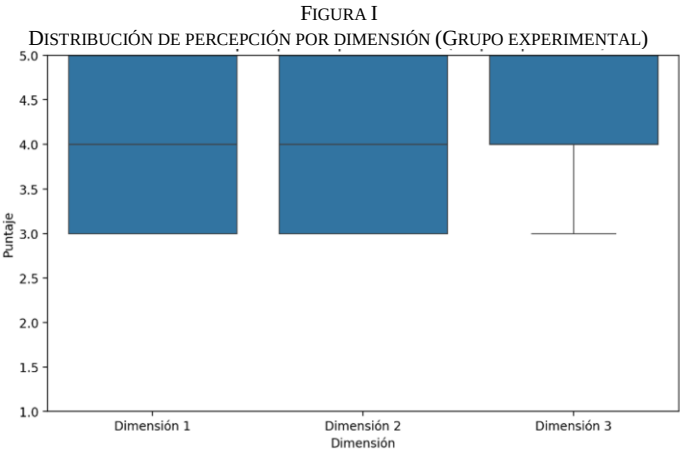
3.1.1 Distribución de las percepciones por dimensión

El primer análisis realizado por los investigadores consistió en medir la distribución de percepciones por dimensión en una

caja de Box Plot, tal como se muestra en la figura 1, la cual muestra, para cada dimensión, la distribución de puntajes (mediana, rango intercuartílico, valores mínimos y máximos) a partir de los datos obtenidos en la evaluación posttest llevada a cabo por los evaluadores.

El análisis de la caja boxplots presenta los resultados del grupo experimental, revelando una percepción mayoritariamente positiva en las tres áreas evaluadas. Las dimensiones 1 y 2 muestran una mediana de 4.0, lo que indica que la mayor parte de los participantes fue situado en la escala de “De acuerdo” con respecto a los contenidos o metodologías impartidas. En estas dos dimensiones, el rango de las respuestas se distribuye entre 3.0 y 5.0, reflejando que, tras la formación, las evaluaciones fluctuaron entre la neutralidad y el acuerdo total, sin registrarse valoraciones negativas dentro de la caja de distribución del grupo experimental.

Por su parte, la dimensión 3 sobresale por alcanzar el nivel máximo de aceptación, con una mediana de 5.0, lo que traduce una posición de “Totalmente de acuerdo” por parte de la mayoría de los sujetos evaluados. Esta dimensión presenta una concentración de datos más elevada hacia el extremo superior de la escala Likert, con un rango intercuartílico que oscila entre 4.0 y 5.0, y un valor mínimo (bigote inferior) que no desciende del 3.0. Este éxito en la dimensión 3 es particularmente visible en los resultados del grupo experimental de Venezuela, donde predominan los puntajes de 5, contrastando significativamente con los grupos de control de ambos países, quienes tras el mismo periodo de tiempo mantuvieron valoraciones mayoritarias de 1 (“Totalmente en desacuerdo”) y 2 (“En desacuerdo”)



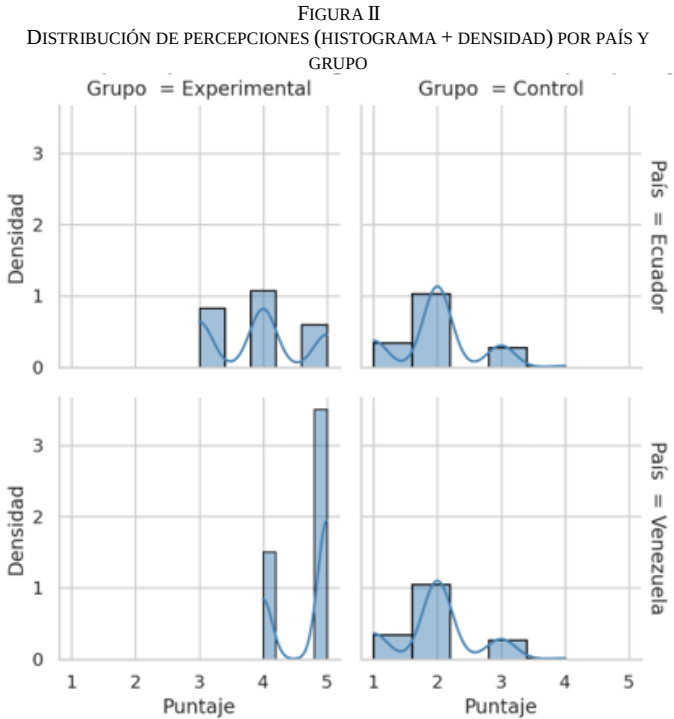
Fuente: Autores (2026)

3.1.2 Distribución de puntajes por país y grupo

El segundo análisis realizado por los investigadores consistió en medir la distribución de puntajes por país y grupo, a través de facet grid de histogramas con curvas de densidad superpuestas, tal como se muestra en la figura 2, la cual ilustra una diferencia sustancial en la distribución de las evaluaciones entre el grupo experimental y el de control en ambos países. Mientras que el grupo de control muestra una concentración de respuestas valoradas por los formadores, en los niveles inferiores de la escala Likert, situándose mayoritariamente en

los puntajes 1 (totalmente en desacuerdo) y 2 (en desacuerdo), el grupo experimental desplaza su densidad hacia los niveles superiores. En este último grupo, las respuestas se agrupan principalmente entre los valores 4 (de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo), lo que sugiere que la intervención tuvo un impacto positivo consistente en la formación de los participantes, independientemente de su ubicación geográfica.

Al desglosar los resultados por país dentro del grupo experimental, se observa que en Venezuela la tendencia hacia la valoración máxima es más marcada, con una densidad muy alta concentrada predominantemente en el puntaje 5 (totalmente de acuerdo). En contraste, en Ecuador, la evaluación por parte de los formadores siguió siendo positiva, la distribución es más dispersa, mostrando picos significativos tanto en el puntaje 4 como en el 5, e incluso una presencia notable en el nivel 3 (ni de acuerdo ni en desacuerdo). Esta variabilidad indica que, si bien la valoración es favorable en ambos contextos, los participantes venezolanos del grupo experimental alcanzaron un consenso más unánime en el nivel máximo de la escala en comparación con sus pares ecuatorianos.



Fuente: Autores (2026)

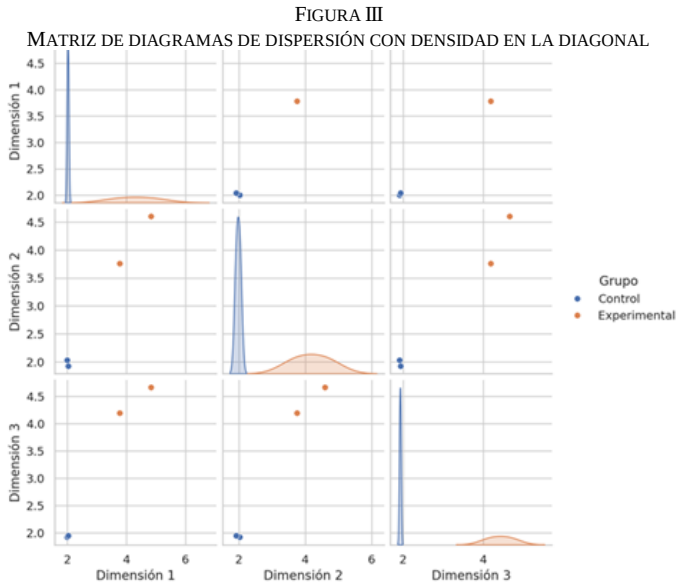
3.1.3 Distribución individual y las relaciones conjuntas de las tres dimensiones

El tercer análisis realizado, consistió en medir la distribución individual y las relaciones conjuntas de las tres dimensiones evaluadas a través de una matriz de diagramas de dispersión con curvas de densidad en la diagonal, tal como se muestra en la figura 3. Al observar las curvas de densidad, se evidencia una separación clara y contundente entre el grupo de control y el grupo experimental en las tres dimensiones evaluadas. Mientras que el grupo de control presenta una densidad altamente concentrada en torno al valor 2, lo que indica una percepción predominante de “en desacuerdo”, el

24th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering without Borders: Artificial Intelligence, Knowledge, Innovation, and Alliances for a Future from the Americas”. Hybrid Event, Santiago-Chile, July 15 - 17, 2026

grupo experimental exhibe una distribución mucho más amplia y desplazada hacia los niveles superiores de la escala. En este último, las curvas de densidad en la diagonal se sitúan mayoritariamente entre los valores 4 (“de acuerdo”) y 5 (“totalmente de acuerdo”), evidenciando que la intervención aplicada generó un cambio positivo y significativo en la valoración de los participantes por parte de los evaluadores, en comparación con quienes no la recibieron.

Al observar los diagramas de dispersión fuera de la diagonal, se confirma la ausencia de solapamiento entre los grupos, lo que refuerza la consistencia de los resultados obtenidos. El grupo experimental muestra una tendencia hacia puntuaciones elevadas en todas las dimensiones simultáneamente, con puntos que se agrupan en el cuadrante superior derecho de los gráficos, alcanzando niveles de total acuerdo, especialmente visibles en las intersecciones de las dimensiones 1 y 3. En contraste, los sujetos del grupo de control permanecen anclados en puntuaciones bajas (cercanas al 2), lo que demuestra que, sin la intervención, la valoración sobre estos indicadores se mantiene en niveles de desacuerdo, sin mostrar la evolución hacia la aceptación observada en el grupo de intervención.



Fuente: Autores (2026)

3.1.4 Análisis de Equivalencia Inicial (Pretest)

El último análisis descriptivo llevado a cabo por los investigadores consistió en un análisis de equivalencia inicial utilizando la prueba t de Student para muestras independientes, aplicada a las dimensiones del pretest, como se manifiesta en la tabla IV, cuyos resultados indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo experimental y el de control al inicio del estudio. Para la Dimensión 1 (Conocimientos Técnicos), el valor p fue de 0.845; para la Dimensión 2 (Desempeño en diseño y simulación), de 0.639; y para la Dimensión 3 (Aplicación práctica y operación), de 0.651, cifras que superan ampliamente el nivel de significancia de 0.05. Esta homogeneidad inicial es corroborada por la prueba

no paramétrica U de Mann-Whitney, que arroja valores p similares (0.848, 0.658 y 0.654 respectivamente), confirmando que ambos grupos presentan condiciones equivalentes antes de cualquier intervención.

Este hallazgo es fundamental para la integridad de la investigación, ya que establece una línea base equitativa entre los sujetos de Ecuador y Venezuela asignados a los distintos grupos. Al no haber disparidades previas en las percepciones o conocimientos evaluados, cualquier cambio significativo observado en mediciones posteriores podrá atribuirse directamente a la intervención aplicada y no a diferencias preexistentes entre los participantes. Los datos del pretest muestran que, inicialmente, la mayoría de los evaluados en ambos grupos se situaban en niveles de desacuerdo o neutralidad respecto a las competencias evaluadas, independientemente de su ubicación geográfica.

TABLA IV
 EQUIVALENCIA INICIAL: T / MANN-WHITNEY

		Estadístico	gl	p
Prom Pretest Dim 1	T de Student	-0.197	107	0.845
	U de Mann-Whitney	1193		0.848
Prom Pretest Dim 2	T de Student	0.471	107	0.639
	U de Mann-Whitney	1154		0.658
Prom Pretest Dim 3	T de Student	-0.453	107	0.651
	U de Mann-Whitney	1171		0.654

Fuente: Autores (2026)

3.2 Análisis inferencial

3.2.1 Impacto de la intervención para la dimensión: conocimientos técnicos

El primer análisis inferencial realizada por los investigadores consistió en valorar el impacto de la intervención formativa para la dimensión 1 (Conocimientos Técnicos), realizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, tal como se muestra en la tabla V, la cual, confirma que no existían diferencias significativas entre los grupos antes de la intervención. Durante el pretest, el valor p obtenido fue de 0.843, con un estadístico χ^2 de 0.0390 y un tamaño del efecto casi nulo ($\epsilon^2=3.61e-4$). Estos resultados se ven respaldados por las comparaciones por parejas (Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, tabla VI), donde la diferencia entre el grupo experimental y el de control arrojó un valor p de 0.844. Lo anterior indica que, inicialmente, ambos grupos compartían una percepción similar, situada predominantemente en los niveles de “en desacuerdo” o “ni de acuerdo ni en desacuerdo” de la escala Likert.

Por el contrario, los resultados del postest para la misma dimensión revelan un cambio drástico y estadísticamente significativo tras la aplicación del tratamiento. El análisis de Kruskal-Wallis muestra un valor p menor a .001, con un estadístico χ^2 que asciende a 40.9933 y un tamaño del efecto considerable de 0.380. La comparación entre el grupo experimental y el de control en esta etapa arroja un valor p de <.001, lo que evidencia que el grupo experimental logró un avance significativo hacia los niveles de “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”. Esta disparidad inferencial demuestra

la efectividad de la intervención en la mejora de los conocimientos técnicos, marcando una separación definitiva respecto al grupo de control, que no mostró tal evolución

TABLA V
 KRUSKAL-WALLIS DIMENSIÓN 1

	χ^2	gl	p	ϵ^2
Promedio pretest	0.0390	1	0.843	3.61e-4
Promedio postest	40.9933	1	<.001	0.380

Fuente: Los autores (2026)

TABLA VI
 COMPARACIONES DOS A DOS DWASS-STEEL-CRITCHLOW-FLIGNER

			W	p
Promedio pretest	Experimental	Control	-0.279	0.844
Promedio postest	Experimental	Control	9.05	<.001

Fuente: Los autores (2026)

3.2.2 Impacto de la intervención para la dimensión: Desempeño en diseño y simulación.

El análisis inferencial para la Dimensión 2 (desempeño en diseño y simulación) revela que, antes de la intervención, no existían diferencias significativas entre los grupos de estudio, tal como lo evidencia la tabla VII. Según la prueba de Kruskal-Wallis, el pretest arrojó un valor p de 0.920, con un estadístico χ^2 de 0.0101 y un tamaño del efecto casi inexistente ($\epsilon^2=9.36e-5$). Este resultado se ve corroborado por las comparaciones por parejas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, manifiestos en la tabla VIII, que también muestran un valor p de 0.920. Esto indica que los participantes de ambos grupos iniciaron el estudio con percepciones similares, las cuales, según los datos recolectados, se concentraban mayoritariamente en los niveles de “en desacuerdo” (2) y “ni de acuerdo ni en desacuerdo” (3) de la escala Likert.

Tras la aplicación del tratamiento, los resultados del postest para esta dimensión evidencian un cambio drástico y estadísticamente significativo. El análisis de Kruskal-Wallis muestra que el valor p descendió a < .001, con un estadístico χ^2 que se elevó a 71.9146 y un tamaño del efecto robusto de 0.666. Las comparaciones post-hoc confirman una diferencia crítica entre el grupo experimental y el de control ($p<.001$), lo que permite concluir que la intervención fue altamente efectiva. Mientras el grupo experimental logró desplazarse hacia valoraciones de “de acuerdo” (4) y “totalmente de acuerdo” (5), el grupo de control se mantuvo en niveles significativamente más bajos, vinculados al desacuerdo o la neutralidad

TABLA VII
 KRUSKAL-WALLIS DIMENSIÓN 2

	χ^2	gl	p	ϵ^2
Promedio pretest	0.0101	1	0.920	9.36e-5
Promedio postest	71.9146	1	<.001	0.666

Fuente: Los autores (2026)

TABLA VIII
 COMPARACIONES DOS A DOS DWASS-STEEL-CRITCHLOW-FLIGNER

			W	p
Promedio pretest	Experimental	Control	0.142	0.920

Promedio postest	Experimental	Control	12.0	<.001
------------------	--------------	---------	------	-------

Fuente: Los autores (2026)

3.2.3 Impacto de la intervención para la dimensión: Aplicación práctica y operación de máquinas CNC

El tercer análisis realizado por los investigadores consistió en determinar el impacto de la intervención formativa para la dimensión 3 (aplicación práctica y operación de máquinas CNC), tal como se manifiesta en la tabla IX, se confirma que, antes de la intervención, no existían disparidades significativas entre los grupos de estudio. La prueba de Kruskal-Wallis aplicada a los datos del pretest arrojó un valor p de 0.649, con un estadístico χ^2 de 0.207 y un tamaño del efecto casi inexistente ($\epsilon^2=0.00191$). Este resultado es validado por la comparación por parejas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (tabla X) donde se evidencia un p valor 0.649, lo que indica que tanto el grupo experimental como el de control iniciaron el proceso en una situación de igualdad, con percepciones que no superaban los niveles de “en desacuerdo” o “ni de acuerdo ni en desacuerdo” en la escala de Likert.

En contraste, los resultados obtenidos en el postest para esta misma dimensión revelan un cambio radical y estadísticamente significativo tras la implementación del tratamiento. El valor p descendió a <.001, con un estadístico χ^2 que ascendió a 73.987 y un tamaño del efecto muy robusto de 0.685. La comparación post-hoc entre el grupo experimental y el de control ratifica esta diferencia crítica (p<.001), evidenciando que la intervención fue altamente efectiva para elevar la competencia percibida. Mientras que el grupo de control permaneció en niveles bajos, el grupo experimental logró desplazarse de manera contundente hacia las valoraciones de “de acuerdo” (4) y “totalmente de acuerdo” (5) en la operación práctica de la maquinaria.

TABLA IX
KRUSKAL-WALLIS DIMENSIÓN 3

	χ^2	gl	p	ϵ^2
Promedio pretest	0.207	1	0.649	0.00191
Promedio postest	73.987	1	<.001	0.68506

Fuente: Los autores (2026)

TABLA X
COMPARACIONES DOS A DOS DWASS-STEEL-CRITCHLOW-FLIGNER

	Experimental	Control	W	p
Promedio pretest			-0.643	0.649
Promedio postest			12.2	<.001

Fuente: Los autores (2026)

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación evidenciaron que el estudio alcanzó satisfactoriamente su objetivo principal, el cual consistía en evaluar el impacto de una intervención formativa en Control Numérico Computarizado (CNC) para fortalecer las competencias profesionales de los metalmecánicos en Guayaquil y Caracas. Los análisis estadísticos aplicados a las tres dimensiones evaluadas (conocimientos técnicos, desempeño en diseño y simulación, y aplicación práctica)

revelaron cambios altamente significativos en el grupo experimental tras la intervención, con un valor p <.001 en todas las áreas. En consecuencia, se demostró que el programa formativo, diseñado bajo el modelo ADDIE, es una herramienta efectiva para estandarizar competencias y mejorar el desempeño académico en el sector industrial.

En cuanto a las limitaciones de la investigación, el estudio se desarrolló bajo un diseño cuasi experimental, lo que implica que careció de una asignación aleatoria de los sujetos, ya que se trabajó con grupos académicos previamente conformados. Por lo que para futuros estudios los investigadores recomiendan trabajar con un grupo aleatorio para determinar la influencia de la intervención formativa sin condicionante alguno.

Finalmente, se plantean diversas líneas futuras de investigación orientadas a profundizar en la modernización del sector. Una de ellas es la integración de tecnologías de realidad extendida para la capacitación de operarios, lo que permitiría reducir los riesgos de accidentes y el gasto de materiales durante el aprendizaje. Asimismo, el interés por la eficiencia energética abre espacio para investigar el uso de modelos de Machine Learning para predecir el consumo de energía en los programas de control numérico. Por último, sería pertinente estudiar el impacto de la restauración de maquinaria antigua mediante software alterno, una estrategia que ya se aplica en algunos países de la región para mitigar la brecha tecnológica

V. REFERENCIAS

- [1] Qi, Q.; Tao, F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access* 2018, 6, 3585–3593. [DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265]
- [2] Echeverría-Guzmán, Á. Y., Gomez-Rodriguez, V. G. (2024). Training program in computer numerical control to strengthen professional competencies in technical university education. ISBN: 978-628-95207-8-1. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1512.
- [3] Garg, G.; Kuts, V.; Anbarjafari, G. Digital Twin for FANUC Robots: Industrial Robot Programming and Simulation Using Virtual Reality. *Sustainability* 2021, 13, 10336. [https://doi.org/10.3390/su131810336]
- [4] Ruiz, L. (1999). El Control Numérico Computarizado en el Desarrollo Industrial. Pp. 1-9. Consultado en línea el 09 de febrero de 2024. Disponible en [https://technology-dokumen.tips]
- [5] Borgia, S., Pellegrinelli, S., Bianchi, G., Leonesio, M., 2014. A reduced model for energy consumption analysis in milling. *Procedia CIRP* 17, 529–534. [http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.105]
- [6] Bhinge, R., Park, J., Law, K.H., Dornfeld, D.A., Helu, M., Rachuri, S., 2017. Toward a generalized energy prediction model for machine tools. *J. Manuf. Sci. Eng.* 139, 041013. http://dx.doi.org/10.1115/1.4034933.
- [7] Shin, S.-J., Woo, J., Rachuri, S., 2017. Energy efficiency of milling machining: Component modeling and online optimization of cutting parameters. *J. Clean. Prod.* 161, 12–29. [http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.013]
- [8] Miranda, J.; Navarrete, C.; Noguez, J.; Molina-Espinosa, J.M.; Ramírez-Montoya, M.S.; Navarro-Tuch, S.A.; Bustamante-Bello, M.R.; Rosas-Fernández, J.B.; Molina, A. The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Comput. I Electr. Eng.* 2021, 93, 107278. [DOI https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278]
- [9] Lee, H.J.; Gu, H.H. Empirical Research on the Metaverse User Experience of Digital Natives. *Sustainability* 2022, 14, 4747. [https://doi.org/10.3390/su142214747]
- [10] Alnagrat, A.J.A.; Ismail, R.C.; Idrus, S.Z.S. Extended Reality (XR) in Virtual Laboratories: A Review of Challenges and Future Training Directions. *J. Phys. Conf. Ser.* 2021, 1874, 012031. [DOI 10.1088/1742-6596/1874/1/012031]
- [11] Kuzior, A.; Sira, M.; Brożek, P. Use of Artificial Intelligence in Terms

- of Open Innovation Process and Management. Sustainability 2023, 15, 7205. <https://doi.org/10.3390/su15097205>
- [12] Martínez, M. A. D., Salinas, R. V. R., Hernández, S. R., Ruíz Domínguez, H. S., Zubirías, G. C., & Morales Rodríguez, M. A. (2024). La inteligencia artificial, un factor esencial para el beneficio de las empresas: revisión sistemática de la literatura. Cogent Engineering, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2380344>
- [13] IBMNewsroom. IBM:EmpresasdeLatinoamérica Aceleraron el uso de Inteligencia Artificial en 67%. Available online: <https://latam.newsroom.ibm.com/2024-03-20-IBM-empresas-de-Latinoamerica-aceleraron-el-uso-de-Inteligencia-Artificial-en-67> (accessed on 30 August 2025).
- [14] Solís-Santamaría, S. I., Solís-Santamaría, T. M., Lasluisa-Naranjo, H. G. y Albán-Andrade, E. D. (2023) Evolución y utilidad Del Mecanizado CNC en el Diseño Industrial. Revista Científica “INGENIAR”: Ingeniería, Tecnología e Investigación. Vol. 6 Núm. (11) 2023. ISSN: 2737-6249. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0083>
- [15] Echeverría-Guzmán, A.y Mérida, E.(2025).La robótica industrial como un motor de innovación y productividad: un estudio bibliométrico [Industrial robotics as a driver of innovation and productivity: a bibliometric study]. European Public & Social Innovation Review,10, 01-14.<https://doi.org/10.31637/epsir-2025-239>
- [16] Tello, M. (2019). Centro Mecanizado CNC y el Proceso de Formación Profesional de los estudiantes de Mecánica de Producción en la Facultad de Tecnología de la Universidad Nacional de Educación. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3117>
- [17] Roldán, J.J.; Crespo, E.; Martín-Barrio, A.; Peña-Tapia, E.; Barrientos, A. A training system for industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 2019, 59, 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.004>
- [18] Fenwick, M., Vermeulen, E.P.M., Corrales, M. (2018). Respuestas empresariales y regulatorias a la inteligencia artificial: regulación dinámica, ecosistemas de innovación y la gestión estratégica de tecnologías disruptivas. En: Corrales, M., Fenwick, M., Forgó, N. (eds) Robótica, IA y el futuro del derecho. Perspectivas en Derecho, Negocios e Innovación. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2874-9_4
- [19] Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. 6ta Edición, pp. 103 115. Caracas: Editorial Episteme.
- [20] Molenda, M. (2003). In search of the elusive ADDIE model. Performance Improvement, 42(5), 34-37. <https://doi.org/10.1002/pfi.4930420508>
- [21] Palella, S., & Martins, F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa. 2da Edición, ISBN: 980-273-445-4, pp. 79-164. Caracas, Venezuela: FEDUPEL
- [22] World Medical Association. (2024). Declaration of Helsinki: Ethical principles medical research involving human subjects. <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracionde-helsinki/>