



# Análisis ergonómico en el laboratorio de prótesis dental mediante superhiperestructuras neutrosóficas

## Ergonomic analysis in the dental prosthetics laboratory using Neutrosophic SuperHyperStructures

José Arturo Molina Ramón <sup>1</sup>, Gabriela Lizeth Carrera Guanga <sup>2</sup>, and Carlos Luis Villalba León <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [ua.josemr04@uniandes.edu.ec](mailto:ua.josemr04@uniandes.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [ua.gabrielacg89@uniandes.edu.ec](mailto:ua.gabrielacg89@uniandes.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [ua.carlosvl20@uniandes.edu.ec](mailto:ua.carlosvl20@uniandes.edu.ec)

**Resumen.** Los laboratorios de mecánica dental han presentado riesgos ergonómicos significativos debido a posturas inadecuadas y movimientos repetitivos, comunes en la fabricación de prótesis dentales. Por tal razón, este estudio se centró en identificar estos riesgos y proponer medidas de seguridad para su mitigación. Para ello, se utilizó el método RULA para evaluar posturas y movimientos, al complementarlo con el análisis del entorno laboral y el diseño del mobiliario. Además, se empleó las SuperHiperestructuras Neutrosóficas para integrar variables implícitas como el estrés y las condiciones ambientales. Los resultados mostraron un alto riesgo de lesiones musculoesqueléticas, en especial en las extremidades superiores, cuello y tronco. Inclusive, se destacó la necesidad urgente de intervenciones preventivas, tales como el rediseño de los espacios de trabajo y la mejora del mobiliario. Finalmente, se recomendó integrar variables implícitas en futuras investigaciones para una intervención precisa y efectiva en la prevención de los riesgos ergonómicos.

**Palabras Claves:** Riesgos ergonómicos, trastornos musculoesqueléticos, carga postural, bienestar ocupacional, SuperHiperestructuras Neutrosóficas.

**Abstract.** Dental mechanics laboratories have presented significant ergonomic risks due to inadequate postures and repetitive movements, common in the manufacturing of dental prostheses. For this reason, this study focused on identifying these risks and proposing safety measures for their mitigation. To achieve this, the RULA method was used to assess postures and movements, complemented by an analysis of the work environment and furniture design. Additionally, Neutrosophic SuperHyperStructures were employed to integrate implicit variables such as stress and environmental conditions. The results showed a high risk of musculoskeletal injuries, particularly in the upper limbs, neck, and trunk. Furthermore, the urgent need for preventive interventions was highlighted, such as redesigning workspaces and improving furniture. Finally, it was recommended to integrate implicit variables in future research for precise and effective interventions in the prevention of ergonomic risks.

**Keywords:** Ergonomic risks, musculoskeletal disorders, postural load, occupational well-being, Neutrosophic SuperHyperStructures.

### 1. Introducción

En el entorno laboral actual, la ergonomía se ha consolidado como un componente esencial para preservar la salud y el bienestar de los trabajadores [1]. Su aplicación permite adaptar las condiciones del entorno, las herramientas y las tareas a las capacidades físicas y cognitivas de los individuos, con el objetivo de prevenir lesiones, mejorar la eficiencia operativa y fomentar ambientes de trabajo saludables [2].

En esta línea, el método RULA se presenta como una herramienta práctica y efectiva para la evaluación de los riesgos ergonómicos, en particular aquellos relacionados con el uso de los miembros superiores [3]. Su implementación permite detectar posturas forzadas, movimientos repetitivos y esfuerzos musculares que derivan en trastornos musculoesqueléticos, especialmente en actividades que requieren precisión y trabajo manual sostenido [4].

De hecho, uno de los ambientes laborales donde estas condiciones se encuentran especialmente presentes es el laboratorio de mecánica dental [5]. En este entorno, el protésico dental desempeña un papel fundamental en la elaboración de prótesis personalizadas, diseñadas para restaurar la funcionalidad y estética dental de los pacientes. La labor del protésico requiere una elevada precisión, así como un dominio técnico en la manipulación de diversos materiales y herramientas [6].

El proceso de fabricación de una prótesis dental se inicia con la recepción de las indicaciones del odontólogo, seguido de la toma de impresiones al utilizar materiales como alginato o silicona. A partir de estos moldes, se crean modelos en yeso que sirven de base para la construcción definitiva de la prótesis, al utilizar técnicas especializadas con metal, cerámica o resina acrílica. Este procedimiento, que incluye etapas como el tallado, ajuste, pulido y adaptación de las piezas, exige posturas prolongadas y movimientos repetitivos que representan un riesgo ergonómico considerable para el técnico dental [7,21].

Por ende, el presente estudio se orienta a identificar los riesgos ergonómicos más comunes en los procesos de fabricación de prótesis dentales y proponer medidas de seguridad adecuadas para su mitigación. Para ello, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una evaluación inicial de los puestos de trabajo en los laboratorios de mecánica dental mediante el método RULA, al considerar factores como movimientos repetitivos, posturas inadecuadas y esfuerzos físicos asociados a la labor técnica.
- Identificar los riesgos ergonómicos más significativos presentes en la manipulación de materiales, el tallado y ajuste de prótesis, así como en las actividades repetitivas relacionadas con el pulido y acabado.
- Determinar las variables que no son directamente observables o que presentan información parcial o incierta y que influyen en la evaluación ergonómica. Así como una propuesta de evaluación que se integre a los resultados organizados por niveles de complejidad mediante el modelo basado en SuperHiperestructuras neutrosóficas [8].

Al aplicar el método RULA, es posible analizar de manera detallada los movimientos y posturas adoptadas por los técnicos durante las distintas etapas de producción de una prótesis dental. Esto incluye la evaluación de tareas como el ajuste de estructuras metálicas, el modelado de cera, el uso de instrumentos rotatorios y el trabajo en estaciones de pulido [9,22].

Por otro lado, el modelo basado en SuperHiperestructuras neutrosófico para la evaluación ergonómica en laboratorios de mecánica dental tiene como objetivo estructurar y analizar datos complejos de manera jerárquica, desde los elementos más simples hasta conjuntos complejos que representan tareas, posturas, condiciones laborales y riesgos asociados [10]. A continuación, de estructurar estos conjuntos de potencia para cada nivel jerárquico, donde se incorporan tanto los elementos observables como aquellos implícitos en la evaluación ergonómica.

En consecuencia, la incorporación de criterios ergonómicos en el diseño de los espacios de trabajo y en la organización de tareas se vuelve indispensable. Esta integración no solo favorece la prevención de lesiones musculoesqueléticas, sino que también mejora la eficiencia del trabajo, al reducir la fatiga y el error humano [11].

## 2. Métodos

### 2.1. Método RULA.

En la presente investigación se manejaron datos de los resultados obtenidos a través de esta investigación mediante observación en el laboratorio de mecánica dental del Centro de Especialidades Odontológicas “Corona Gómez Phd” de la UNIANDES. De hecho, permitieron la evaluación de la carga postural para la prevención de trastornos musculoesqueléticos en el ámbito laboral. Por consiguiente, para la modelación del estudio, se propone la utilización del método RULA (Rapid Upper Limb Assessment) como herramienta de evaluación sistemática para identificar los principales riesgos ergonómicos en los laboratorios de mecánica dental. De hecho, permite no solo reconocer los puntos críticos del proceso de trabajo, sino también establecer medidas correctivas que contribuyan a la mejora de las condiciones laborales.

#### 2.1.1 Descripción del método RULA [12]:

El método RULA se basa en la observación y evaluación de las posturas adoptadas por el trabajador durante la jornada laboral. Se consideran cuatro factores principales:

- Postura: Se evalúa la posición de las diferentes partes del cuerpo (brazos, antebrazos, muñecas, tronco, piernas) mediante diagramas estandarizados.
- Duración: Se registra el tiempo que el trabajador permanece en cada postura.
- Frecuencia: Se anota la cantidad de veces que el trabajador adopta cada postura a lo largo de la jornada.
- Fuerza: Se considera la fuerza muscular utilizada para mantener cada postura.

*Evaluación del riesgo:* A partir de la información recolectada, se asigna una puntuación a cada factor de riesgo. La suma de las puntuaciones determina el nivel de riesgo:

- Bajo riesgo (puntuación total  $\leq 2$ ): No se requieren medidas inmediatas.

- Riesgo medio (puntuación total 3-7): Se recomienda implementar medidas de control para reducir el riesgo.
- Alto riesgo (puntuación total  $\geq 8$ ): Se requiere una intervención urgente para reducir el riesgo.

*Medidas de control:* El método RULA ofrece diferentes medidas de control para reducir el riesgo ergonómico, como:

- Modificación del puesto de trabajo: Ajustar la altura de la mesa de trabajo, la silla, el monitor o la posición de las herramientas.
- Implementación de pausas: Introducir pausas regulares para descansar las extremidades superiores.
- Ejercicios de estiramiento: Realizar ejercicios para mejorar la flexibilidad y la fuerza muscular.
- Capacitación: Instruir al trabajador sobre las técnicas de trabajo correctas para evitar posturas inadecuadas.

*Aplicación del método RULA:* En el caso del protésico dental, el método RULA se utiliza para evaluar el riesgo ergonómico asociado a las diferentes tareas que realiza, como:

- Toma de moldes: Posición de pie con flexión del tronco y los brazos.
- Preparación de la prótesis: Posición sentada con flexión de los dedos y las muñecas.
- Ajuste de la prótesis: Posición de pie o sentada con flexión del tronco y los brazos.

*Metodología de la evaluación:* Para realizar la evaluación, se seguirán los siguientes pasos:

1. Observación y registro de las posturas: Se fotografiará al protésico dental durante la jornada laboral para identificar las posturas más incorrectas.
2. Evaluación de los factores de riesgo: Se analizará la postura, la duración, la frecuencia y la fuerza de cada postura al utilizar los diagramas y las tablas del método RULA.
3. Cálculo del nivel de riesgo: Se suman las puntuaciones de cada factor de riesgo para obtener el nivel de riesgo total.
4. Recomendaciones: Se propondrán medidas de control para reducir el riesgo ergonómico en función del nivel de riesgo encontrado.

## 2.2. Neutrosophic SuperHyperStructures

Las Neutrosophic SuperHyperStructures son una extensión avanzada de las SuperHiperestructuras, combinadas con la lógica neutrosófica, una teoría desarrollada por Florentin Smarandache [13]. Esta lógica permite representar y trabajar con información que no solo es verdadera o falsa, sino también indeterminada, al hacerla especialmente útil en entornos donde los datos son incompletos, ambiguos o inciertos. De hecho, cuando se combina con la noción de SuperHiperestructuras neutrosófica, se obtiene un instrumento que permite representar relaciones entre elementos observables, no observables e inciertos, organizados por niveles de complejidad.

De igual forma, la lógica neutrosófica integrada a los conjuntos de potencia  $P^n(H)$  proporciona una herramienta avanzada para representar escenarios reales donde la información disponible es heterogénea en calidad y grado de certeza. En el caso de laboratorios dentales, algunos factores como la postura, duración de la tarea o herramienta empleada pueden observarse directamente, mientras que otros, como el estrés, la motivación, o la calidad del mobiliario, pueden estar sujetos a percepción subjetiva o datos parciales.

Así, cada conjunto  $P^n(H)$  no solo representa una agrupación semántica o funcional, sino que también incorpora una valoración neutrosófica que permite distinguir:

- Qué tan confiable es un conjunto diagnóstico ergonómico.
- Qué grado de incertidumbre lo afecta.
- Qué aspectos pueden descartarse por falta de evidencia.

Por consiguiente, se proponen las siguientes definiciones:

**Definition 1:** The  $n^{\text{th}}$ -Power Set  $P_*^n(H)$  without indeterminacy of the set  $H$  (non-empty -set) is defined recursively as follows:

$$P_*^0(H) = H$$

$$P_*^1(H) = P_*(H)$$

$$P_*^2(H) = P_*(P_*(H))$$

$$P_*^3(H) = P_*(P_*^2(H))$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_*^n(H) = P_*(P_*^{n-1}(H))$$

Where  $P$  denotes the power set is repeated  $n$  times in the last formula and the empty set  $\emptyset$  (representing indeterminacy, uncertainty) is not allowed in any of the previous sequences.

**Definition 2:** The  $n^{\text{th}}$ -Power Set  $P^n(H)$  with set indeterminacy  $H$  is defined recursively as follows:

$$P^0(H) = H$$

$$P^1(H) = P(H)$$

$$P^2(H) = P(P(H))$$

$$P^3(H) = P(P^2(H))$$

$$P^n(H) = P(P^{n-1}(H))$$

Where  $P$  is repeated  $n$  times in the last formula and the empty set  $\emptyset$  (representing indeterminacy, and uncertainty) is allowed in the previous sequences.

**Definition 3:** A *SuperHyperStructure* is built on the **n<sup>th</sup>-Power Set  $P^n(H)$**  of a set  $H$ , for an integer  $n \geq 1$ , whose *SuperHyperOperators* ( $\#_{SHO}$ ) are defined as follows:

$$\#_{SHO}: (P^r(H))^m \rightarrow P^*(H),$$

Where  $P^*(H)$  is the power set of  $H$  for the integer  $r \geq 1$ , while  $P^n(H)$  is the n<sup>th</sup>-Power Set of  $H$  without any empty set and the *SuperHyperAxiom* acts on it.

**Definition 4:** A *Neutrosophic SuperHyperStructure* is built on the **n<sup>th</sup>-Power Set  $P^n(H)$**  of a set  $H$ , for an integer  $n \geq 1$ , whose *Neutrosophic SuperHyperOperators* ( $\#_{NSHO}$ ) are defined as follows:

$$\#_{NSHO}: (P^r(H))^m \rightarrow P^n(H),$$

Where  $P^r(H)$  is the power set of  $H$  for the integer  $r \geq 1$ , while  $P^n(H)$  is the n<sup>th</sup>-Power Set of  $H$  which can contain the empty set and the *Neutrosophic SuperHyperAxiom* acts on it.

Note that a *SuperHyperFunction* is a particular case of a SuperHyperOperator, just like a *Neutrosophic SuperHyperFunction* is a special case of a Neutrosophic SuperHyperOperator.

### 3. Estudio de los riesgos ergonómicos en el desempeño del protésico dental.

#### 3.1 SuperHyperEstructura neutrosóficas para la representación de riesgos ergonómicos.

Modelo jerárquico basado en SuperHiperestructuras Neutrosóficas:

1. Conjunto S: Elementos simples o los elementos básicos que representan variables observables del entorno ergonómico al agruparse en este nivel. Cada elemento se encuentra directamente relacionado con una característica específica de la actividad laboral en los laboratorios dentales. Esto incluye aspectos como las tareas realizadas, las posturas observadas, los segmentos corporales afectados, entre otros.

$S = \{a, b, c, d, e, f, g, h, l\}$ , donde cada elemento representa:

- a: Actividades ergonómicamente críticas (ejemplo: tallado de prótesis)
- b: Posturas corporales observadas (ejemplo: flexión de tronco)
- c: Segmentos corporales afectados (ejemplo: extremidades superiores)
- d: Niveles de riesgos según RULA
- e: Frecuencias de las tareas
- f: Duración de las posturas
- g: Herramientas empleadas (ejemplo: torno, pieza de mano)
- h: Medidas preventivas propuestas
- l: Estaciones de trabajo observadas

2. Conjunto M: Elementos implícitos en este nivel que incluyen variables que no son directamente observables o que presentan información parcial o incierta, tales como las condiciones psicosociales, la experiencia del operario o las características del ambiente laboral [14] [15]. Estas variables influyen en la evaluación ergonómica, pero su determinación es más compleja y requiere una mayor estimación.

$M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6\}$ , donde cada elemento representa:

- $m_1$ : Niveles de experiencia del protésico dental
- $m_2$ : Variabilidad en duración y frecuencia de tareas
- $m_3$ : Condiciones médicas preexistentes
- $m_4$ : Calidad del mobiliario
- $m_5$ : Factores psicosociales (ejemplo: estrés, fatiga, motivación)
- $m_6$ : Condiciones ambientales del laboratorio (ejemplo: temperatura, ruido, iluminación)

Para la evaluación ergonómica en laboratorios dentales se procede a aplicar SuperHiperestructuras Neutrosóficas, donde:

- $H = S \cup M$
- S: Variables observables
- M: Variables implícitas con incertidumbre

3. Nivel  $P^0(H)$ : Elementos individuales

$$P^0(H) \stackrel{\text{def}}{=} H = \{a, b, c, d, e, f, g, h, l, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6\}$$

4. Nivel P<sup>1</sup>(H): Estructura funcional primaria de factores ergonómicos observables e implícitos (ver tabla 1).
5. Nivel P<sup>2</sup>(H): Arquitectura temática intermedia para la evaluación de riesgos ergonómicos (ver tabla 2).
6. Nivel P<sup>3</sup>(H): Modelos diagnósticos compuestos para el análisis ergonómico (ver tabla 3).
7. Nivel P<sup>4</sup>(H): Estratificación de riesgo ergonómico por procedimiento técnico (ver tabla 4).

**Tabla 1:** Nivel P<sup>1</sup>(H). Fuente: Elaboración propia.

Conjunto	Elementos	Entidad o nombre
P <sup>1</sup> (H)	P <sup>1</sup> <sub>1</sub> (H) {a, b, c}	Relación tarea–postura–segmento afectado
	P <sup>1</sup> <sub>2</sub> (H) {d, e, f}	Perfil de riesgo observable
	P <sup>1</sup> <sub>3</sub> (H) {g, h, l}	Condiciones físicas del entorno
	P <sup>1</sup> <sub>4</sub> (H) {m <sub>1</sub> , m <sub>2</sub> }	Experiencia y variabilidad de tareas
	P <sup>1</sup> <sub>5</sub> (H) {m <sub>4</sub> , m <sub>6</sub> }	Mobiliario y ambiente del laboratorio
	P <sup>1</sup> <sub>6</sub> (H) {m <sub>3</sub> , m <sub>5</sub> }	Salud preexistente y factores psicosociales

**Tabla 2:** Nivel P<sup>2</sup>(H). Fuente: Elaboración propia.

Conjunto	Elementos	Entidad o nombre
P <sup>2</sup> (H)	P <sup>2</sup> <sub>1</sub> (H) {P <sup>1</sup> <sub>1</sub> (H), P <sup>1</sup> <sub>2</sub> (H)}	Análisis ergonómico observable
	P <sup>2</sup> <sub>2</sub> (H) {P <sup>1</sup> <sub>2</sub> (H), P <sup>1</sup> <sub>3</sub> (H)}	Evaluación del riesgo y condiciones del entorno
	P <sup>2</sup> <sub>3</sub> (H) {P <sup>1</sup> <sub>1</sub> (H), P <sup>1</sup> <sub>3</sub> (H)}	Configuración de tarea y entorno físico
	P <sup>2</sup> <sub>4</sub> (H) {P <sup>1</sup> <sub>5</sub> (H), P <sup>1</sup> <sub>6</sub> (H)}	Evaluación de factores personales y estructurales del entorno
	P <sup>2</sup> <sub>5</sub> (H) {P <sup>1</sup> <sub>4</sub> (H), P <sup>1</sup> <sub>6</sub> (H)}	Incertidumbre funcional y psicosocial

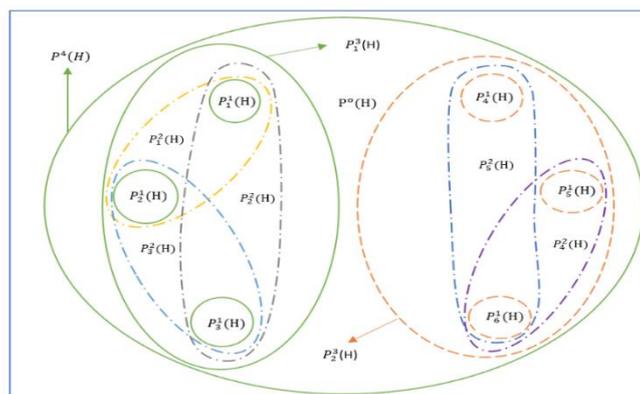
**Tabla 3:** Nivel P<sup>3</sup>(H). Fuente: Elaboración propia.

Conjunto	Elementos	Entidad o nombre
P <sup>3</sup> (H)	P <sup>3</sup> <sub>1</sub> (H) {P <sup>2</sup> <sub>1</sub> (H), P <sup>2</sup> <sub>2</sub> (H), P <sup>2</sup> <sub>3</sub> (H)}	Diagnóstico ergonómico observable
	P <sup>3</sup> <sub>2</sub> (H) {P <sup>2</sup> <sub>4</sub> (H), P <sup>2</sup> <sub>5</sub> (H)}	Modelo de riesgo con alta incertidumbre

**Tabla 4:** Nivel P<sup>4</sup>(H). Fuente: Elaboración propia.

Conjunto	Elementos	Tareas	Entidad o nombre
P <sup>4</sup> (H)	{P <sup>3</sup> <sub>1</sub> (H), P <sup>3</sup> <sub>2</sub> (H)}	Tallado	Riesgos ergonómicos del procedimiento “tallado”
		Pulido	Riesgos ergonómicos del procedimiento “pulido”
		Ajuste	Riesgos ergonómicos del procedimiento “ajuste”

Este modelo propone una representación jerárquica y estructurada de datos ergonómicos, basada en la teoría de las SuperHyperEstructuras neutrosóficas, particularmente mediante el uso de conjuntos de potencia n-ésima (ver figura 1). Esta metodología permite organizar y analizar de manera sistemática los factores de riesgo presentes en laboratorios de mecánica dental.



**Figura 1:** Neutrosophic SuperHyperStructures para la evaluación ergonómica en laboratorios dentales. Fuente: Elaboración propia.

Los conjuntos  $P^n(M)$  se integran progresivamente con los conjuntos  $P^n(S)$  del modelo estructurado de variables observables, mediante un enlace flexible que pondera el impacto de la incertidumbre sobre los diagnósticos ergonómicos:

$$P^n(H) = P^n(S) \cup P^n(M)$$

De este modo, el análisis final del riesgo ergonómico se ajusta al considerar las condiciones no observables o parcialmente conocidas. Esto es fundamental para garantizar que las medidas preventivas no se basen únicamente en observaciones visibles, sino también en factores estructurales no evidentes. A continuación, se realiza una observación y evaluación ergonómica en el laboratorio de mecánica dental del Centro de Especialidades Odontológicas “Corona Gómez Phd” de la UNIANDES, donde se analizan hasta el conjunto potencia  $P_1^3(H)$ . Para ello, se aplicó la definición:  $\#ERGO\_RIESGO: P_1^3(H) \rightarrow Z$ , donde  $Z$  representa el rango de puntuación del método RULA.

### 3.2 Evaluación ergonómica en el laboratorio de mecánica dental: Modelación del método RULA.

#### 3.2.1 Análisis grupo A

Durante la fase de recolección de datos, se observaron múltiples variables posturales en el entorno de trabajo del protésico dental. Entre los resultados más relevantes se identificó una flexión del brazo entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ , con apoyo sobre el mesón de trabajo (ver figura 2) que implica una evaluación de (+2). El trabajador permanecía sentado en un asiento carente de características ergonómicas, al comprometer la alineación corporal adecuada.

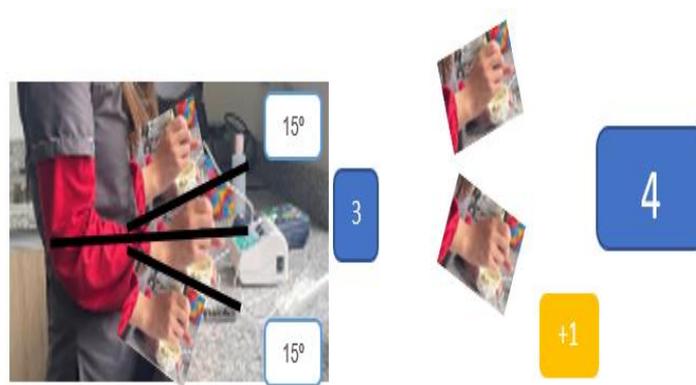


Figura 2: Puntuación del brazo del grupo A. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el antebrazo presentaba una flexión aproximada de  $60^\circ$ , mientras que el brazo cruzaba la línea media del cuerpo en el área de trabajo, lo cual implica una distribución asimétrica de las tareas (ver figura 3) con una evaluación de (+2). Asimismo, se registró una flexión de muñeca entre  $0^\circ$  y  $15^\circ$ , acompañada de una desviación cubital, y un giro cercano al límite final del rango de movimiento de la articulación, al implicar una evaluación de (+4) (ver figura 4).



Figura 3: Puntuación del brazo del grupo A. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4:** Puntuación de la muñeca del grupo A. Fuente: Elaboración propia.

De igual forma la *puntuación giro de la muñeca* se evaluó de (+1), al tener presente los siguientes criterios:

- Si la muñeca está en el rango medio giro: +1
- Si la muñeca está girada próxima al rango final de giro: +2

Estos movimientos eran ejecutados de forma repetitiva y con alta precisión, lo que incrementa la probabilidad de sobrecarga muscular localizada.

En cambio, la *puntuación de actividad muscular* se evaluó de (+1), al considerar estos criterios:

- Actividad dinámica (ocasional, poco frecuente y de corta duración): 0
- Si la postura es principalmente estática (agarres superiores a 1 min) o si sucede repetidamente la acción (4 veces/min o más) implica: (+1)

Sin embargo, la *puntuación de carga/fuerza* se mostró al obtener un valor de (0), debido que la carga manipulada por el protésico era constante y menor a 1 kilogramo, aunque leve, en combinación con los demás factores posturales, contribuye al desgaste funcional. Para ello, esta evaluación se encuentra sustentada según los siguientes criterios:

- No resistencia o carga o fuerza menor de 2 kg y se realiza intermitentemente: 0
- Entre 2 y 10 kg y se levanta intermitente +1
- Entre 2 y 10 kg y es estática o repetitiva / o más de 10 kg intermitente: +2
- Más de 10 kg estática o repetitiva / o golpes o fuerzas bruscas o repentinas: +3

### 3.2.2 Análisis del grupo B

En el análisis del Grupo B, que contempla cuello, tronco, piernas, tipo de actividad muscular y carga/fuerza, se estableció una puntuación media en el tronco debido a la torsión leve observada (ver figura 5 y 6). De hecho, la puntuación del cuello fue de +3 y la del tronco de +1.



**Figura 5:** Puntuación del cuello del grupo B. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6:** Puntuación del tronco del grupo B. Fuente: Elaboración propia.

En cambio, la *puntuación piernas* se evaluó de (+1), debido que las piernas, al encontrarse en contacto con el suelo y con una distribución simétrica del peso corporal (ver figura 7), obtuvieron una puntuación baja, indicativa de menor riesgo postural. De hecho, esta evaluación se fundamentó en los siguientes criterios:

- Sentado con pies y piernas apoyados o de pie con el peso simétricamente distribuido y espacio para cambiar de posición: +1
- Si los pies no están apoyados, o si el peso no se encuentra simétricamente distribuido: +2.



**Figura 7:** Puntuación de las piernas del grupo B. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la puntuación del tipo de actividad muscular se mostró con una puntuación de (+1), debido que la postura estática prolongada y la ligera carga sostenida implicaron una penalización adicional en la evaluación. Entre los criterios para determinar este valor, se muestran:

- Actividad dinámica (ocasional, poco frecuente y de corta duración) (0)
- Si la postura es principalmente estática o si sucede repentinamente la acción (4 veces / min. o más)

Sin embargo, la *Puntuación carga/fuerza* con una evaluación de (0) se determinó en función de los siguientes criterios:

- No resistencia o carga o fuerza menor de 2 kg y se realiza intermitentemente: 0
- Entre 2 y 10 kg y se levanta intermitente +1
- Entre 2 y 10 kg y es estática o repetitiva / o más de 10 kg intermitente: +2
- Más de 10 kg estática o repetitiva / o golpes o fuerzas bruscas o repentinas: +3

Finalmente, al integrar todas las puntuaciones obtenidas, el resultado total se ubicó en el rango de 5 a 6 puntos según la escala del método RULA. Este puntaje se interpreta como un nivel de riesgo medio a alto, lo cual indica que la postura y condiciones de trabajo del protésico dental no son aceptables y requieren cambios urgentes. De acuerdo con la interpretación de la escala RULA, los valores mostrados sugieren la necesidad de una intervención inmediata, precedida por un análisis de mayor alcance que permita implementar medidas correctivas eficaces (ver tabla 5).

**Tabla 5:** Escala del método RULA. Fuente: R. Nowara et al (2023).

Escala	Descripción
1 o 2	Se considera aceptable si no se mantienen o repiten durante largos periodos de tiempo.
3 o 4	Se dan a posturas de trabajo que estén fuera del rango de movimiento adecuados, se requiere estudios complementarios y posibles cambios.
5 o 6	Indica que no se encuentra dentro de los rangos de movimiento y (o) trabajo muscular estático, y puede ser preciso ejercer fuerzas. Requiere que estas operaciones se investiguen pronto y se realicen cambios a corto plazo.

#### 4. Discusión

Los resultados del estudio, centrado en los laboratorios de mecánica dental, han identificado dos tipos de variables en la evaluación ergonómica: las que son directamente observadas y medidas —como las posturas adoptadas, las tareas realizadas y las herramientas empleadas—, y aquellas que, por su naturaleza subjetiva o incierta, escapan a una cuantificación directa. Entre estas últimas se encuentran factores como el estrés laboral, la motivación individual, la fatiga acumulada, así como la experiencia del protésico dental o las condiciones ambientales cambiantes del laboratorio. En este escenario de información heterogénea, las *Neutrosophic SuperHyperStructures* se presentan como una herramienta que ha permitido la integración coherente de datos empíricos con variables indeterminadas dentro de un modelo estructural. Esta capacidad de modelar simultáneamente certezas e informaciones parciales o desconocidas son la clave para representar la complejidad real de entornos laborales caracterizados por alta variabilidad humana y las condiciones multifactoriales. [23]

El análisis hasta el conjunto potencia  $P_1^3(H)$  ha permitido identificar en la evaluación ergonómica realizada diversos factores de riesgo asociados a la labor del protésico dental. Entre los más relevantes se encuentran las posturas forzadas mantenidas durante largos periodos, la ejecución constante de movimientos repetitivos y los esfuerzos musculares asociados a la manipulación de pequeñas cargas y tareas de precisión. Estas condiciones, observadas de manera sostenida, tienden a generar tensión acumulada en los músculos cervicales y dorsales, lo que incrementa el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos a mediano y largo plazo.

De hecho, los resultados del método RULA han evidenciado que la exposición continua a posturas inadecuadas y movimientos repetitivos constituye un riesgo significativo para la salud ocupacional en este entorno. A pesar de la naturaleza especializada del trabajo en los laboratorios de mecánica dental, se constató la carencia de mobiliario ergonómicamente diseñado que facilite una correcta alineación postural y minimice el impacto físico sobre el trabajador.

En este sentido, la observación directa permitió confirmar que todas las regiones corporales implicadas en las funciones del protésico dental —especialmente extremidades superiores, cuello y tronco— son susceptibles de evaluación mediante el método RULA. Esto refuerza su utilidad como herramienta diagnóstica preliminar para detectar riesgos ergonómicos y planificar intervenciones adecuadas dentro del conjunto potencia  $P_1^3(H)$ . De hecho, la ausencia de un diseño ergonómico específico en el mobiliario y las estaciones de trabajo agrava la situación, al incrementar el potencial de aparición de lesiones por sobreuso.

Por otro lado, los puntajes obtenidos tras la evaluación RULA se ubicaron en un rango que sugiere la necesidad inmediata de acciones correctivas. Por tanto, la implementación de programas preventivos en ergonomía emerge como una estrategia clave para la mitigación del riesgo. Dichos programas deben incluir capacitaciones sobre prácticas posturales adecuadas, pausas activas y rediseño del entorno laboral. Paralelamente, es imperativo optimizar el mobiliario utilizado, de forma que se adapte a las características antropométricas del trabajador y favorezca una ejecución más saludable de sus funciones.

Asimismo, estudios internacionales realizados en facultades odontológicas han abogado sobre el rediseño de los espacios de trabajo de odontólogos y protésicos dentales, debido a la alta incidencia de enfermedades musculoesqueléticas asociadas a su práctica profesional [16]. Aunque en la presente investigación no se dispone de estudios institucionales previos para establecer comparaciones directas, la evidencia empírica recopilada coincide con resultados globales que respaldan la implementación inmediata de medidas ergonómicas integrales.

Por otro lado, si bien el análisis realizado mediante el método RULA permitió identificar un nivel de riesgo ergonómico medio a alto que exige intervención inmediata, se debe señalar que este estudio no contempló el desarrollo de elementos implícitos en la evaluación. Estas variables, tales como la experiencia del operario, las condiciones psicosociales (como el estrés o la fatiga), y los factores ambientales del laboratorio (iluminación, ruido, temperatura), no son directamente observables y presentan un alto grado de incertidumbre o subjetividad en su cuantificación. De hecho, suelen incidir significativamente en la interpretación global del riesgo, dado que estos factores actúan como moduladores del impacto real de las posturas y tareas evaluadas. [24]

Por tanto, se ha recomendado, que futuras investigaciones integren herramientas de evaluación complementarias que permitan incorporar estos elementos mediante un análisis de las Superhiperestructuras neutrosóficas. Así

como la evaluación de la estratificación de riesgo ergonómico por procedimiento técnico del nivel  $P^4(H) \rightarrow P^n(M)$ . Para ello, se presenta la siguiente propuesta a desarrollar en próximos estudios.

### 3.3 Propuesta de evaluación para $P^4(H) \rightarrow P^n(M)$ .

En este caso, el valor numérico de riesgo  $Z$  debe ser asignado al integrar tanto los factores de incertidumbre como los efectos indirectos sobre el riesgo ergonómico [17]. Por tanto, se realizaría a través de las siguientes metodologías:

Método de evaluación para  $P^n(M)$ :

1. Métodos de evaluación basados en factores psicosociales y médicos:
  - Los factores psicosociales (estrés, fatiga, motivación) y médicos (condiciones preexistentes) contribuyen a la carga ergonómica del trabajador, aunque no estén directamente relacionados con las posturas.
  - Factores como el estrés incrementan la percepción de fatiga y aumenta la probabilidad de lesiones, para ello, se debe asignar un valor numérico neutrosófico de riesgo basado en estudios previos o en encuestas.
  - Análisis de variables psicosociales:
    - Cuestionarios como el cuestionario de estrés ocupacional o cuestionarios de salud psicosocial permiten cuantificar el impacto de factores como la fatiga o el estrés en el riesgo ergonómico.
    - Estos cuestionarios asignan puntuaciones que se integran en un modelo de riesgo, al utilizar una escala de 0 a 10 o cualquier otro rango de valores.
  - Análisis médico:
    - La presencia de condiciones médicas preexistentes (por ejemplo, problemas musculoesqueléticos, artritis) elevan el riesgo ergonómico. Aquí, el valor asignado depende de la gravedad de la condición médica y su impacto potencial sobre el trabajador.
    - Por ejemplo, un trabajador con antecedentes de dolor lumbar tiene un valor de riesgo más alto para tareas que impliquen flexión prolongada del tronco.
2. Simulaciones y modelos predictivos:
  - Modelos de simulación:
    - Técnicas como la simulación neutrosófica Monte Carlo son aplicadas para generar diferentes escenarios de riesgo basados en las condiciones inciertas que afectan la ergonomía [18,25]. Esto incluye variabilidad en la fatiga, frecuencia de tareas, y otros factores psicosociales.
    - El modelo asigna probabilidades a cada posible resultado de riesgo (bajo, moderado, alto), al proporcionar un valor de riesgo numérico en función de la probabilidad de que ocurran diferentes eventos de riesgo.
3. Métodos de clasificación y análisis de datos:
  - Análisis de clústeres:
    - Al utilizar algoritmos de agrupamiento como k-means o análisis de factores en herramientas como R o Python, se identifican patrones en las variables implícitas [19]. Esto permite clasificar a los trabajadores en grupos con riesgo similar, al asignar un valor de riesgo según el perfil de cada grupo.
  - Modelos estadísticos de regresión:
    - Regresión logística o redes bayesianas se usarían para predecir el riesgo ergonómico basado en múltiples variables implícitas [20]. Estas técnicas consideran la correlación entre variables como el estrés, la experiencia y las condiciones laborales.
    - El valor de riesgo se asigna en función de la probabilidad de lesión o fatiga derivada de estas variables. [26,27]
4. Escalas de evaluación adaptadas:
  - Se utilizan escalas adaptadas para asignar un valor numérico de riesgo basándose en el impacto combinado de los factores implícitos:
    - Una escala de 0 a 10 o 1 a 5 podría usarse, donde 0 o 1 sería un riesgo bajo, y 10 o 5 indicaría un riesgo alto. Este puntaje se ajusta según la combinación de factores como fatiga, experiencia y condiciones de trabajo.

Por lo tanto, la función  $\#ERGO\_RIESGO: P^n(M) \rightarrow Z$  se define de la siguiente manera:

$$\#ERGO\_RIESGO(P^n(M)) = \{\text{Valor numérico de riesgo } (T, I, F)\} = f(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6).$$

Donde, el valor de  $f(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6)$  se calcula al utilizar los métodos de evaluación mencionados y el resultado es un número entero que representa el nivel de riesgo ergonómico basado en las variables implícitas.

Esto permite una evaluación integral del riesgo ergonómico al considerar tanto las variables observables como las inciertas.

## 5. Conclusión

La evaluación ergonómica en los laboratorios de mecánica dental ha identificado factores de riesgo significativos, como posturas forzadas y movimientos repetitivos, que aumentan la probabilidad de trastornos musculoesqueléticos. Así mismo, el uso de Neutrosophic SuperHyperStructures ha permitido integrar variables observables y subjetivas, al mejorar la precisión en el análisis y al fomentar intervenciones preventivas efectivas, como el rediseño del mobiliario y la capacitación en posturas adecuadas.

Los resultados obtenidos mediante el método RULA han revelado que las condiciones actuales favorecen la aparición de lesiones musculoesqueléticas. En consecuencia, se hace imprescindible implementar medidas preventivas en el laboratorio de mecánica dental del Centro de Especialidades Odontológicas. Asimismo, se ha recomendado integrar las variables implícitas, como el estrés y las condiciones ambientales, mediante SuperHiperestructuras Neutrosóficas en futuros estudios, con el fin de desarrollar estrategias de intervención más precisas y transferibles a otros entornos laborales.

## Referencias

- [1] M.-E. Boatca, A. Draghici, S. I. Irimie, and B. Gajsek, "Safety, health and comfort in the workplace: An innovative framework to support implementation of ergonomic interventions," *Human Systems Management*, vol. 44, no. 1, pp. 59-68, 2025. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/HSM-230159>.
- [2] K. Parsakia and S. H. S. A. Tabar, "The Future of Occupational Health: Anticipating Risks in the Evolving Workplace," *Journal of Foresight and Public Health*, vol. 1, no. 3, pp. 30-45, 2024. [Online]. Available: <https://www.journalfpoh.com/index.php/jfph/article/view/12>.
- [3] V. N. Kakaraparthi *et al.*, "Application of the rapid upper limb assessment tool to assess the level of ergonomic risk among health care professionals: A systematic review," *Work*, vol. 71, no. 3, pp. 551-564, 2022. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/WOR-210239>.
- [4] M. Aljanakh, "Musculoskeletal disorders among dental assistants: a cross-sectional study," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 25, no. 1, p. 64, 2024. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12891-024-07178-7>.
- [5] K. Katano, K. Nakajima, M. Saito, Y. Kawano, T. Takeda, and K. Fukuda, "Effects of Line of Vision on Posture, Muscle Activity and Sitting Balance During Tooth Preparation," *International Dental Journal*, vol. 71, no. 5, pp. 399-406, 2021/10/01/ 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020653920365564>.
- [6] W. D. Hendricson and P. A. Cohen, "Oral health care in the 21st century: implications for dental and medical education," *Academic Medicine*, vol. 76, no. 12, pp. 1181-1206, 2001. [Online]. Available: [https://journals.lww.com/academicmedicine/abstract/2001/12000/oral\\_health\\_care\\_in\\_the\\_21st\\_century\\_implications.9.aspx](https://journals.lww.com/academicmedicine/abstract/2001/12000/oral_health_care_in_the_21st_century_implications.9.aspx).
- [7] L. Sangalli, M. Alabsy, D. Lingle, A. Alessandri-Bonetti, and J. C. Mitchell, "Assessment of dental ergonomics among dental students: A retrospective study," *Journal of Dental Education*, vol. 87, no. 11, pp. 1559-1569, 2023. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jdd.13338>.
- [8] C. Perou, A. Petalas, M. Stoupi, and C. Hadjichristou, "Effectiveness of Lighting Conditions on Shade Matching Accuracy Among Dental Students," *Dentistry Journal*, vol. 13, no. 3, p. 130, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-6767/13/3/130>.
- [9] A. Tahir, S. Bai, and M. Shen, "A wearable multi-modal digital upper limb assessment system for automatic musculoskeletal risk evaluation," *Sensors*, vol. 23, no. 10, p. 4863, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/10/4863>.
- [10] L. Kaki, S. Kc, and J. E. Gallagher, "Health and wellbeing of clinical dental care professionals: a systematic review," *Primary Dental Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 40-50, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/599>.
- [11] J. Wu, M. McCullough, M. G. Panisset, and M. P. Galea, "Prevention of work-related musculoskeletal disorders among dental professionals: A scoping review," *Work*, vol. 72, no. 1, pp. 91-108, 2022. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/WOR-205257>.
- [12] R. Nowara *et al.*, "Testing the level of agreement between two methodological approaches of the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) for occupational health practice—an exemplary application in the field of dentistry," *Bioengineering*, vol. 10, no. 4, p. 477, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2306-5354/10/4/477>.
- [13] F. Smarandache, "Foundation of superhyperstructure & neutrosophic superhyperstructure," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 63, no. 2024, pp. 367-381, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vHI\\_EQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA367&dq=Neutrosophic+SuperHyperFunction+\(Revisited+Again\)&ots=B35rZi9suU&sig=Y5EpNldEvSKrOrquCawGsqqTHb4](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vHI_EQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA367&dq=Neutrosophic+SuperHyperFunction+(Revisited+Again)&ots=B35rZi9suU&sig=Y5EpNldEvSKrOrquCawGsqqTHb4).
- [14] E. AIDhaen, "Awareness of occupational health hazards and occupational stress among dental care professionals: Evidence from the GCC region," *Frontiers in public health*, vol. 10, no. September pp. 1-7, 2022. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.922748/full>.

- [15] K. Denewar, "MUSCULOSKELETAL DISORDERS AND ASSOCIATED FACTORS AMONG DENTAL TECHNICIANS," *Egyptian Journal of Occupational Medicine*, vol. 49, no. 1, pp. 53-70, 2025. [Online]. Available: [https://journals.ekb.eg/article\\_406574.html](https://journals.ekb.eg/article_406574.html).
- [16] M. Pang *et al.*, "Virtual and interprofessional objective structured clinical examination in dentistry and dental technology: development and user evaluations," *JMIR Formative Research*, vol. 8, no. 1, p. e44653, 2024. [Online]. Available: <https://formative.jmir.org/2024/1/e44653/>.
- [17] D. M. Cocârță, M. Prodana, I. Demetrescu, P. E. M. Lungu, and A. C. Didilescu, "Indoor air pollution with fine particles and implications for workers' health in dental offices: A brief review," *Sustainability*, vol. 13, no. 2, p. 599, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/599>.
- [18] M. Sharma, N. Dhiman, S. Kumar, L. Rathour, and V. N. Mishra, "Neutrosophic Monte Carlo simulation approach for decision making in medical diagnostic process under uncertain environment," *Int J Neutrosophic Sci*, vol. 22, no. 1, pp. 08-16, 2023. [Online]. Available: <https://www.americaspg.com/articleinfo/21/show/2033>.
- [19] A. Greasley and J. S. Edwards, "Enhancing discrete-event simulation with big data analytics: A review," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 72, no. 2, pp. 247-267, 2021. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01605682.2019.1678406>.
- [20] M. H. Madihi, A. A. Shirzadi Javid, and F. Nasirzadeh, "Enhancing risk assessment: An improved Bayesian network approach for analyzing interactions among risks," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 32, no. 3, pp. 2022-2043, 2025. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ecam-07-2023-0774/full/html>.
- [21] Correa-Vaca, A. M., Miralles, C., Márquez-Sánchez, F., & Vergara-Romero, A. "Circular Economy Based on Reverse Logistics: A Systematic Literature Review". *Kurdish Studies*, vol. 12, num. 1. 2023. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Fidel-Marquez-Sanchez/publication/377874532\\_Circular\\_Economy\\_Based\\_on\\_Reverse\\_Logistics\\_A\\_Systematic\\_Literature\\_Review/links/65bbb6301e1ec12eff690232/Circular-Economy-Based-on-Reverse-Logistics-A-Systematic-Literature-Review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fidel-Marquez-Sanchez/publication/377874532_Circular_Economy_Based_on_Reverse_Logistics_A_Systematic_Literature_Review/links/65bbb6301e1ec12eff690232/Circular-Economy-Based-on-Reverse-Logistics-A-Systematic-Literature-Review.pdf)
- [22] Von Feigenblatt, O. F. "El retorno del generalista: las humanidades, las artes liberales y la inteligencia artificial". *Revista Internacional del Instituto de Pensamiento Liberal*, vol. 1, num. 1, pp 37-50, 2024. Available: <https://doi.org/10.51660/ripl.v1i1.9>
- [23] Estupiñán, C. P., Ortega, R. S., Márquez-Sánchez, F., & Romero, A. V. "Soberanía alimentaria desde la política pública y sus argumentos: Food sovereignty from public policy and its arguments". *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, vol. 8, pp 79-93, 2021. Available: <https://doi.org/10.21855/ecociencia.80.635>
- [24] López Gutiérrez, J. C., Pérez Ones, I., Estupiñán Ricardo, J., & Ramos Carpio, J. P. "Integrating Neutrosophic Theory into Regression Models for Enhanced Prediction of Uncertainty in Social Innovation Ecosystems". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, num. 1, pp 18, 2024. Available: [https://digitalrepository.unm.edu/nss\\_journal/vol71/iss1/18/](https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol71/iss1/18/)
- [25] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In *Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies*", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-9881-0\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-9881-0_7)
- [26] Sánchez, F. M. "¿ Qué universidad necesitamos para enfrentar los retos del desarrollo?". *Revista Uniandes Episteme*, vol. 11, num. 3, pp. 305-307, 2024. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9948108.pdf>
- [27] von Feigenblatt Rojas, O. F. "Presentación del campo emergente de la Diplomacia Académica". *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 15, num. 2, pp. 316-325, 2023. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202023000200316&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202023000200316&script=sci_arttext)

Recibido: febrero 28, 2025. Aceptado: marzo 23, 2025