

La investigación en ingeniería industrial: Sintagma gnoseológico desde la comprensión holística de la ciencia

Research in Industrial Engineering: A Gnoseological Syntagm Based on a Holistic Understanding of Science

Anel Carolina Núñez Herrera

<https://orcid.org/0000-0002-9476-5527> / anelarca@gmail.com

Centro Internacional de Estudios Avanzados (Ciea-Sypal), Caracas, Venezuela

RESUMEN

La ingeniería industrial atraviesa una transformación profunda e irreversible, caracterizada por el tránsito desde el mecanicismo centrado en la eficiencia técnica hacia la gestión de la complejidad en ecosistemas sociotécnicos contemporáneos. Este ensayo propone el sintagma gnoseológico como una categoría epistemológica clave para superar la histórica fragmentación de la disciplina, integrando de manera coherente los vectores técnico, humano, ético y algorítmico en una arquitectura de sentido unificada. A partir de un análisis crítico del legado taylorista frente a la irrupción de tecnologías digitales, particularmente la inteligencia artificial, se sostiene que la productividad contemporánea ya no puede entenderse como un resultado exclusivamente técnico, sino como una propiedad emergente de la interacción entre dimensiones sociales y tecnológicas. En el marco de la investigación holística y su espiral de la complejidad, se plantea un modelo de desarrollo del conocimiento que redefine el rol del ingeniero industrial, orientándolo hacia la figura de un estratega del saber, capaz de articular múltiples niveles de análisis y acción. Este enfoque implica no solo una ampliación de competencias, sino también una reconfiguración del pensamiento disciplinar hacia perspectivas más integradoras. El análisis concluye que el futuro de la ingeniería industrial depende de su capacidad para asumir una integración holística que trascienda el instrumentalismo técnico tradicional. Este cambio representa un salto cualitativo que exige articular el rigor analítico con la sostenibilidad sistémica y una responsabilidad humana ineludible, en contextos marcados por la incertidumbre, la innovación constante y la creciente interdependencia global.

Palabras clave: complejidad, epistemología, ingeniería industrial, inteligencia artificial, investigación holística, sintagma gnoseológico, sistemas sociotécnicos.

ABSTRACT

Industrial engineering is undergoing a profound and irreversible transformation, marked by a shift from mechanistic approaches focused on technical efficiency toward the management of complexity within contemporary sociotechnical ecosystems. This essay advances the gnoseological syntagm as a key epistemological category to overcome the discipline's historical fragmentation, coherently integrating technical, human, ethical, and algorithmic dimensions into a unified architecture of meaning. Through a critical analysis of the Taylorist legacy in contrast with the rise of digital technologies, particularly artificial intelligence, it argues that contemporary productivity can no longer be understood as a purely technical outcome, but rather as an emergent property of the interaction between social and technological dimensions. Within the framework of holistic research and its spiral of complexity, a model of knowledge development is proposed that redefines the role of the industrial engineer, orienting it toward the figure of a knowledge strategist capable of articulating multiple levels of analysis and action. This approach entails not only an expansion of competencies but also a reconfiguration of disciplinary thinking toward more integrative perspectives. The analysis concludes that the future of industrial engineering lies in its capacity to embrace holistic integration beyond traditional technical instrumentalism. This shift represents a qualitative leap that demands the articulation of analytical rigor with systemic sustainability and an inescapable human responsibility in contexts defined by uncertainty, continuous innovation, and growing global interdependence.

Keywords: complexity, epistemology, industrial engineering, artificial intelligence, holistic research, gnoseological syntagm, sociotechnical systems.

Recibido: 15-12-2025 | Aceptado: 20-03-2026

INTRODUCCIÓN

La ingeniería industrial surge formalmente como disciplina a finales del siglo XVIII y principios del XIX, en el contexto de la Primera Revolución Industrial. Nace como respuesta a la necesidad de optimizar la producción, mejorar los métodos de trabajo y gestionar de manera eficiente la mano de obra en las nascentes fábricas. En ese sentido, su propósito inicial fue transformar los sistemas de producción en procesos mensurables, predecibles y controlables.

La evolución inicial de la ingeniería industrial estuvo marcada por el positivismo y el mecanicismo. Según Zandin (2004), este origen respondió al intento de sustituir el conocimiento empírico, frecuentemente incierto, por un conjunto de reglas sistemáticas basadas en el método científico positivista.

Esta búsqueda de certidumbre se consolidó entre las décadas de 1960 y 1970, cuando el modelado matemático y el análisis computacional se volvieron referencias claves en este campo. Durante este tiempo, la importancia del dato cuantitativo y la precisión numérica superó a las dimensiones cualitativas y contextuales. Como Checkland (1981) señala, fue un período donde se estableció lo que se conocen como sistemas duros. En este contexto, Turner et al. (1993) también argumentan que esta tendencia le dio cabida al razonamiento del rigor matemático como criterio de legitimidad disciplinar.

Sin embargo, este enfoque técnico trajo consigo una reducción ontológica significativa. El mecanicismo influyó en cómo se concebía la organización: como un conjunto óptimo de partes estandarizadas (Baca Urbina, 2014). Frederick Taylor llevó esta idea al extremo al dividir el trabajo en movimientos básicos para eliminar lo que consideraba ineficiencia (Gutarra-Meza, 2015; Taylor, 1911). Por su parte, los Gilbreth organizaron las acciones humanas en unidades estandarizadas (Groover, 2007). Morgan (1986), argumentó que al comparar la organización con una máquina, este enfoque redujo al trabajador a una pieza intercambiable dentro de un sistema mecánico diseñado para maximizar la eficiencia mientras limitaba su capacidad de intervenir en procesos más amplios. Este enfoque de sistema cerrado, documentado por Scott (2003), buscaba proteger la eficiencia frente a la variabilidad humana, al restringir al operario a tareas rígidamente definidas, estandarizadas y controladas.

Esta fragmentación heredada del modelo mecanicista, exige una ruptura no solo operativa, sino ontológica. Para que el conocimiento trascienda la mera semántica, es vital reconceptualizar cómo se mide en esta disciplina. Mientras que el paradigma tradicional se centra en el movimiento-tiempo como medida atómica de productividad, una comprensión holística debe considerar eventos sociotécnicos interconectados. En esta nueva unidad de medida, las acciones no se evalúan aisladamente; más bien son interacciones complejas e indivisibles donde el estado cognitivo del trabajador, la respuesta algorítmica y la cultura organizacional son elementos inseparables que configuran un todo coherente.

Aunque el enfoque reduccionista fue útil para estandarizar procesos durante el siglo XX, hoy se enfrentan límites estructurales evidentes: simplemente optimizar técnicamente no es suficiente para abordar la complejidad actual de los ecosistemas productivos. Ahora se sabe que es necesario integrar dinámicas sociales, cognitivas y organizacionales para lograr una verdadera eficiencia.

La literatura especializada advierte que ignorar estas dimensiones relacionales conduce inevitablemente a soluciones parciales (Baca Urbina, 2014). Así que se ha visto un cambio hacia modelos sociotécnicos que priorizan factores como motivación, salud mental y calidad ambiental laboral como aspectos para mejorar la productividad de los sistemas. Este cambio epistemológico está respaldado por el Cuerpo de Conocimiento de Ingeniería Industrial y de Sistemas (IISE, 2021), que define esta disciplina como el diseño e implementación de sistemas integrados compuestos por personas, materiales e información entre otros aspectos cruciales.

A partir de aquí surge otro giro epistemológico aún más profundo: la irrupción de la inteligencia artificial generativa, la cual transforma radicalmente lo que se entiende por sistema productivo, al integrar modelos predictivos y aprendizaje autónomo dentro del proceso de decisiones. Ya el ser humano no es solo un engranaje dentro de un sistema sociotécnico; ahora es parte de un ecosistema cognitivo donde humanos y máquinas interactúan constantemente. Esto obliga a replantear cómo se relacionamos datos con decisiones e interpretaciones, porque, aunque la inteligencia artificial generativa puede producir información útil, su verdadero significado solo surge cuando se combinamos con experiencia humana y contexto institucional.

La organización ya no es solo un sistema de engranajes sociotécnicos, sino que se convierte en un ecosistema cognitivo donde interactúan agentes humanos, máquinas y algoritmos. La inteligencia artificial generativa produce información, pero su significado es un atributo humano que solo aparece cuando se combina con la experiencia, la reflexión ética y el contexto de la institución. Así pues, hay una nueva capa de complejidad tanto organizacional como algorítmica con la cual el ingeniero industrial debe aprender a lidiar: comprender cómo estos sistemas inteligentes influyen en su percepción y en la estructura laboral diaria.

En este sentido, hay que dejar atrás esa idea limitada de ver la inteligencia artificial generativa solo como una herramienta externa; debe ser vista como parte integral del tejido organizacional. Desde una comprensión holística en investigación, esta inteligencia no busca optimizar tareas aisladas; su función es potenciar algo mayor: promover una autopoiesis organizacional efectiva. Por ejemplo, si se diseñan sistemas de inteligencia artificial generativa para programar producción mientras se sigue buscando minimizar tiempos sin considerar al trabajador detrás del algoritmo, se podría estar fallando gravemente en el logro de las metas. Aquí es donde entra esta noción de "sostenibilidad cognitiva": en lugar de imponer ritmos mecánicos en los empleados, se busca acoplar estos algoritmos con sus realidades humanas reconocidas; entender sus estados cognitivos permite ver cómo cada elemento influye interactivamente dentro del sistema total.

Por lo tanto, se debe centrar el esfuerzo en alcanzar una comprensión amplia sobre fenómenos productivos, desde diversas dimensiones. No es sólo acerca de elegir entre técnicas cuantitativas o cualitativas ni entre enfoques técnicos y humanos, sino integrar ambas perspectivas dentro de una visión coherente. El sintagma emerge, como un medio para unir diferentes puntos de vista y ofrecer además una percepción única sobre toda la organización. En otras palabras: no sustituye las teorías existentes, sino que integra sus contribuciones dentro de una totalidad significativa capaz de navegar las complejidades, sin caer en reduccionismos simplistas.

El objetivo central de este trabajo es profundizar el estudio acerca del sintagma gnoseológico como base epistemológica para revolucionar la investigación dentro del ámbito industrial, en un contexto dominado por complejidades intensas derivadas, entre otras cosas, por la inteligencia artificial generativa. Se necesita trascender la visión reduccionista histórica, para incorporar conocimientos técnicos junto con entendimientos socioculturales precisos acerca de cómo funcionan realmente las organizaciones abiertas, y evolucionar constantemente, junto a el entorno inmediato. Además, es urgente traducir efectividad y eficiencia en bienestar humano real, mientras se respeta la ergonomía cognitiva, y desde un diseño centrado sobre esos sistemas inteligentes implicados, a partir de una reflexión crítica.

Este análisis ha sido construido a partir del método de la investigación holística, aplicando conscientemente la espiral de complejidad en su propia arquitectura argumentativa. Su desarrollo avanza en cuatro movimientos que corresponden a los niveles (no a los estadios) de dicha espiral.

1. Un nivel perceptual, donde se diagnostica el paradigma clásico y su legado técnico.
2. Un nivel aprehensivo, centrado en identificar las limitaciones epistemológicas del reduccionismo a partir del análisis y comparar las perspectivas existentes.
3. Un nivel comprensivo, en el que se formula el sintagma gnoseológico como estructura integradora.
4. Y un nivel integrativo, orientado a proyectar el nuevo perfil profesional y a elaborar la reflexión de cierre. Esta estructura autorreflexiva busca que la forma del texto refleje su contenido: el conocimiento científico es un proceso continuo donde cada comprensión da lugar a la siguiente.

EL PARADIGMA CLÁSICO Y SU LIMITACIÓN

Para comprender la magnitud de la crisis actual, es imperativo analizar primero los cimientos del modelo que ha regido la disciplina por más de un siglo: el paradigma clásico.

El enfoque tradicional de la Ingeniería Industrial, basado en la administración científica de Taylor (1911), dividió el conocimiento al separar el proceso productivo en partes individuales para mejorar la eficiencia de cada una (Zandin, 2004). Al seguir esta lógica mecanicista, se buscaba la considerada única y mejor forma de hacer cada tarea, eliminar movimientos innecesarios y dividir el trabajo en tareas muy pequeñas, para estandarizar la actividad humana como se hacía con las piezas de materiales (Baca Urbina et al., 2014; Zandin, 2004). Este reduccionismo suponía que la sinergia del sistema era la suma aritmética de sus partes, y omitía que la organización constituye una red dinámica donde el sentido de los componentes surge únicamente de su relación con la totalidad.

En este modelo, la eficiencia se lograba mediante la división extrema del trabajo y la supervisión constante, por lo cual, la labor del ingeniero se reducía a la vigilancia de una maquinaria perfectamente sincronizada. El operario no era más que un apéndice de la línea de producción, un factor de costo a minimizar y una variable a estandarizar.

¿Es el trabajador un engranaje o una conciencia? El orden mecanicista es, en última instancia, una forma de ceguera organizacional. Esta miopía del paradigma clásico ignora una premisa fundamental: las organizaciones no son relojes, sino ecosistemas sociotécnicos. Dicha visión se sustentaba en una epistemología positivista que jerarquiza la observación empírica, la cuantificación y la predictibilidad como cánones exclusivos de validez científica. Por otro lado, el positivismo, en su vertiente más ortodoxa, legitimaba únicamente el conocimiento verificable mediante métricas, aunque propició el desarrollo de herramientas de control, simplificó el fenómeno organizacional a variables aisladas, omitiendo dimensiones subjetivas, simbólicas y sociales, convirtiendo al trabajador en una suerte de dispositivo biomecánico, cuya teleología se agotaba en la ejecución eficiente de tareas preestablecidas (Gutarra-Meza, 2015; Zandin, 2004).

Estas limitaciones no son únicamente técnicas, sino profundamente epistemológicas y exigen ser abordadas desde una teoría del conocimiento científico para superar los supuestos del positivismo. Kuhn (1962) planteó que la ciencia no progresa mediante la acumulación lineal de datos, sino a través de cambios paradigmáticos que transforman la manera de interpretar la realidad. Además, Morin (1990) profundizó esta crítica señalando que el pensamiento simplificador propio del mecanicismo, fragmenta la realidad separando lo que está unido y reduciendo lo complejo a lo llano. Desde esta perspectiva, la ingeniería industrial clásica operaba bajo un paradigma que privilegiaba la simplificación por encima de la comprensión.

El pensamiento complejo de Morin introduce el principio epistemológico de unidad en la diversidad, planteando la necesidad de comprender la realidad como un todo interrelacionado. En

este contexto, lo gnoseológico aporta la estructura metodológica necesaria para traducir dicho principio en la práctica investigativa. Sin embargo, la fragmentación del trabajo derivó también en una fragmentación del conocimiento. Al descomponer el proceso productivo en tareas aisladas, se profundizó la separación entre quienes piensan y quienes ejecutan, entre quienes diseñan y quienes operan. Esta división debilitó el conocimiento organizacional: los diseñadores perdieron de vista las contingencias operativas, mientras que los ejecutores quedaron al margen de una comprensión sistémica. Como resultado, el ingeniero industrial pasó a ser un especialista en herramientas más que un estratega del conocimiento. Su formación se orientó hacia la aplicación de métodos, relegando la comprensión integral de los fenómenos.

La llegada de la inteligencia artificial generativa nos muestra lo inadecuado que resulta seguir con este paradigma tan fragmentado. Los sistemas inteligentes no actúan sobre partes aisladas; más bien, se centran en patrones globales, interacciones y dependencias que surgen de grandes volúmenes de datos. Aquí es donde la inteligencia artificial generativa destaca: la organización no es un conjunto de tareas, sino un entramado complejo donde los flujos de información, decisiones y retroalimentaciones son tan determinantes como los procesos físicos, pues tratar de aplicar la lógica taylorista a los sistemas algorítmicos no es suficiente. Los modelos de aprendizaje automático dependen de relaciones del sistema que se pierden cuando se dividen en partes muy pequeñas.

Esta transición proyecta a la ingeniería industrial hacia un nuevo nivel de complejidad enfrentando el hermetismo de los sistemas automatizados para tomar decisiones. En el ecosistema de la Industria 4.0, la inteligencia artificial generativa no sólo acelera la producción; también organiza flujos lógicos cuyos criterios internos suelen permanecer ocultos a la supervisión humana. Este hermetismo se mezcla con la herencia mecanicista del ingeniero tradicional, configurando un doble desafío que invalida las soluciones simplistas. ¿Es el algoritmo un optimizador infalible de la cadena de valor o una nueva frontera de invisibilidad organizacional? Hoy en día, el ingeniero industrial no puede limitarse a gestionar tiempos y movimientos al estilo antiguo. Su trabajo ahora implica entender la lógica del aprendizaje en entornos sociotécnicos complicados, detectar sesgos que puedan afectar la productividad y proteger tanto la integridad como la vida humana frente a las máquinas. Atender este reto reclama una visión holística genuina: un sintagma que fusione con rigor la eficiencia técnica, la responsabilidad social, la sostenibilidad y el imperativo ético.

Esta limitación histórica nos muestra cuán urgente es tener una base de conocimiento integrada que ayude a fusionar saberes separados en una comprensión unificada del fenómeno organizacional. La transformación en esta disciplina necesita ir más allá del conocimiento técnico básico y adoptar un enfoque que conecte ciencias formales, fácticas y sociales (Baca Urbina et al., 2014). Así que, ¿es el ingeniero industrial solo un usuario de herramientas o un creador de soluciones complejas? La respuesta está en cuán profunda sea su mirada integradora. Solo con esta visión amplia podrá dejar atrás el rol de operario enfrentándose a dificultades técnicas y convertirse en un arquitecto de la complejidad. Esta nueva identidad le permitirá manejar ese entramado sistémico lleno de alta complejidad organizacional donde se entrelazan sistemas duros (procesos físicos), blandos (dinámicas humanas) e inteligentes (modelos algorítmicos) en un entorno sociotécnico siempre cambiante. Esta nueva identidad le permitirá manejar ese entramado sistémico lleno de alta complejidad organizacional donde se entrelazan sistemas duros (procesos físicos), blandos (dinámicas humanas) e inteligentes (modelos algorítmicos) en un entorno sociotécnico siempre cambiante (Baca Urbina et al., 2014; Gutarra-Meza, 2015).

Solo con esta perspectiva integral puede el ingeniero industrial romper con la idea del técnico como operador de cajas negras y consolidarse como diseñador de sistemas complejos. Con ello, será capaz de gestionar lo que Baca Urbina et al. (2014) llama esa “realidad escurridiza e inasible” organizacional, donde interactúan constantemente los sistemas duros (máquinas y procesos físicos), sistemas blandos (relaciones humanas y dinámicas culturales) y sistemas inteligentes (algoritmos y

modelos computacionales), en constante interacción con su entorno socio-técnico (Baca Urbina et al., 2014; Gutarra-Meza, 2015).

Reconocer las fallas del paradigma mecanicista es el primer paso para dejar atrás esa visión limitada del ingeniero industrial como alguien que solo trabaja con fragmentos. Pero identificar el problema no es suficiente; el vacío dejado por esa simplificación exige una nueva estructura del conocimiento que devuelva coherencia al sistema. ¿Se puede seguir usando herramientas del siglo XX en una realidad tan compleja? La obsolescencia de lo lineal es hoy nuestra mayor certeza. Se necesita unir esas partes dispersas del conocimiento, y eso lleva inevitablemente hacia la propuesta del **sintagma gnoseológico** (Hurtado de Barrera, 2010), como eje integrador.

EL SINTAGMA GNOSEOLÓGICO COMO EJE INTEGRADOR

Frente a la fragmentación del conocimiento heredado del siglo XX y anteriores, el sintagma gnoseológico no es solo una acumulación de datos. Más bien, se presenta como una estructura necesaria para integrar todo lo que hoy en día requiere la ingeniería. Hurtado de Barrera (2010) nos dice que este sintagma es como un mapa de relaciones que permite unir diferentes paradigmas en algo con más sentido. Para la ingeniería industrial, esto significa dejar de ver la técnica, lo humano y lo digital como compartimentos estancos y empezar a verlos como nodos interconectados en una red. ¿Podemos realmente diseñar la complejidad desde la simplicidad? El reduccionismo ya no sirve. Ahora, necesitamos una visión basada en la holística, como la que proponen Jan Smuts (1926), Arthur Koestler (1967) y Fritjof Capra (1982), Weil (1993), Barrera Morales (2010), quienes consideran que la realidad es un entramado donde el todo tiene propiedades que no se pueden reducir a las partes. El todo favorece las aprehensiones, de igual manera que las comprensiones relativas a la explicación de los eventos, en el contexto de sus relaciones e implicaciones.

En la investigación tradicional, tanto el marco teórico como el estado del arte tienen roles definidos, limitados. El marco teórico incluye conceptos y modelos que respaldan la investigación; mientras que el estado del arte ofrece una revisión crítica de los avances recientes. Ambos se organizan en una lógica acumulativa de información, pero suelen fallar al integrar en una comprensión más amplia. Así que, ¿es la investigación solo un montón de antecedentes o puede ser algo más significativo? Los datos acumulados no aseguran que se tenga un conocimiento profundo.

Aquí es donde entra el **sintagma gnoseológico**. No se limita a describir teorías; conecta diferentes aportes en una estructura coherente que revela la unidad subyacente del fenómeno. Mientras el marco teórico explica lo que dicen los autores, el sintagma muestra cómo esos saberes están relacionados; y mientras el estado del arte evalúa el progreso cronológico, el sintagma ve los modelos como perspectivas parciales y complementarias. Según Hurtado de Barrera (2010), esto coloca al investigador en un nivel cognitivo más alto: el nivel integrativo. En este punto, el trabajo académico deja de ser una mera disección disciplinar y se convierte en una síntesis transdisciplinaria capaz de generar un conocimiento nuevo y profundamente humano.

Esta capacidad para integrar se fortalece cuando se unen variadas teorías y consideraciones sobre el saber y la ciencia. A su vez, cuando las variantes epistemológicas se perciben de mejor manera desde una mirada amplia, holista, inspiradora de estilos integrativos del pensamiento y del conocimiento en general. Así, la propuesta gnoseológica actúa como un puente entre lo que la tradición clásica ha fragmentado, permitiendo que el saber técnico dialogue con las emociones, por ejemplo, sin perder sus particularidades. Esta visión hace que el ingeniero acepte las contradicciones entre eficiencia y flexibilidad, no como errores, sino como tensiones necesarias.

Maturana y Varela (1980) van aún más lejos al proponer que la cognición es fundamental para comprender la vida humana, y para entender ecosistemas sociotécnicos como sistemas cognitivos. Desde esta perspectiva de autopoiesis, el estrategia del saber actúa como un agente que conecta las

dinámicas internas del ecosistema con su entorno. Por tanto, la productividad ya no es solo una métrica externa; se convierte en una emergencia sistémica: algo natural de una organización cuyo flujo de significados es saludable. Desde esta postura, el ingeniero no impone soluciones, sino que configura condiciones para que la eficiencia emerja del propio sistema, al reconocer al trabajador como sujeto activo y no como un simple recurso.

Capra (1996) también aporta esta visión al señalar que los sistemas productivos se definen por sus patrones organizativos y redes interdependientes. Su enfoque ecológico resuena con esta idea de holos y enfatiza que la comprensión siempre queda corta si no integra dimensiones técnicas, sociales y ambientales. Por último, Prigogine y Stengers (1984) revolucionaron el entendimiento sobre la gestión, con su concepto de estructuras disipativas, y mostraron cómo los sistemas alejados del equilibrio pueden generar orden a partir del caos. En esta era dominada por la inteligencia artificial y la incertidumbre, estas fluctuaciones se convierten en parte vital de sistemas adaptativos que buscando sobrevivir en entornos caóticos. Lejos de ese equilibrio estático propio del mecanicismo, las plantas productivas encuentran estabilidad en el movimiento continuo.

Lo anterior permite ver cómo esta integración sintagmática se vuelve crucial para la práctica actual. El diseño inteligente exige reunir modelos matemáticos, análisis ergonómicos y estudios sociotécnicos. ¿Dónde termina el algoritmo y dónde empieza el cansancio humano? Al mirar todo el sistema junto, esas fronteras son ilusorias. Solo una mirada sintagmática puede revelar cómo esa fatiga afecta la calidad y pone en peligro la sostenibilidad del conocimiento.

Durante décadas, la educación ha estado atrapada en una visión técnico-instrumental que ha creado lo que muchos llaman la caja negra del ingeniero: profesionales muy capacitados técnicamente, pero con poco entendimiento sobre lo global. En mis experiencias docentes he visto cómo esta rigidez choca con nuestra realidad actual llena de cambios constantes. Frente a esto, aparece el sintagma gnoseológico como esa herramienta disruptiva necesaria para abrir nuevas puertas técnicas. El ingeniero sintagmático se transforma entonces en un arquitecto de contextos y promotor de redes humanas; su trabajo va más allá de operar máquinas para evaluar también las resonancias éticas y sociales de la tecnología.

Al concebir el sintagma como una estructura integradora, se evidencia su transformación constante en el tiempo. Desde una perspectiva holística, este no surge de manera fortuita, sino como resultado de un proceso gradual de complejización hacia niveles superiores de integración.

En este marco, se propone la denominada espiral de complejidad, un modelo ilustrativo que describe la evolución del conocimiento desde percepciones inmediatas hasta procesos de transformación integrativa profunda. Esta ruta metodológica, permite que cada solución técnica se sustente éticamente en la totalidad del sistema, para entender cada hallazgo como un tránsito hacia nuevas síntesis que favorecen la adaptación de la ingeniería industrial a los retos contemporáneos.

LA COMPRENSIÓN HOLÍSTICA DE LA CIENCIA Y LA INVESTIGACIÓN: MODELO DE GESTIÓN

La investigación en ingeniería industrial trasciende la simple recopilación de datos, y se configura como un proceso dinámico y continuo. Bajo esta premisa, la espiral holística propuesta por Hurtado de Barrera (2010) se entiende como una dinámica del aprendizaje que se alinea con la noción de conocimiento inacabado (Morin, 1990) y va más allá de las transiciones paradigmáticas de Kuhn (1962) para entender la evolución del conocimiento como procesos sintagmáticos. Su principal aporte radica en su carácter metafórico de madurez para la gestión al concebir la investigación de sistemas como un proceso orientado hacia niveles superiores de eficiencia y ética. En este marco, la espiral representa el proceso actual que se constituye en la base de la innovación futura.

En la práctica investigativa del ingeniero industrial, este proceso se traduce en diferentes niveles interconectados:

Primero, se aparece el nivel perceptual, donde comienza a conectar con la realidad operativa. Aquí, el investigador utiliza estadios exploratorios y descriptivos para identificar eventos sociotécnicos emergentes y anotar sus características más evidentes. En términos de gestión, esto significa estar al tanto de indicadores clave (KPI) y diagnosticar problemas. Es un paso esencial para detectar cuellos de botella, pero es como tomar una foto: le dice al analista qué está pasando, sin profundizar en el por qué.

Luego, viene el nivel aprehensivo, que requiere ir más allá de lo visible a través de estadios analíticos y comparativa. En este nivel, el ingeniero descompone el sistema para descubrir las relaciones subyacentes y contrasta variables como la eficiencia algorítmica versus la respuesta humana. Aquí se entiende que un problema de calidad no es solo un incidente aislado; es el reflejo de una desconexión dentro del ecosistema.

Al avanzar al nivel comprensivo, el profesional puede explicar y anticipar situaciones al integrar los estadios explicativos, predictivos y proyectivos. En este punto, no solo se identifican las causas del fenómeno, sino que también se utilizan modelos de simulación para prever diferentes escenarios. La cima aquí es la investigación proyectiva: diseñar estructuras de decisión y protocolos que lleven a una gestión estratégica en lugar de reactivación.

Finalmente, se llega al nivel integrativo, donde el conocimiento se convierte en acción transformadora a través de investigaciones interactivas y evaluativas. En este contexto, ejecutar soluciones implica interacción y verificación del impacto logrado. La evaluación cierra el ciclo cognitivo; aquí es donde el ingeniero asume su responsabilidad ética sobre el sistema diseñado, identifica los logros sean alcanzados, detecta aspectos a mejorar, y se asegura de que la inteligencia artificial no reemplace la autoridad humana.

Este proceso permite al ingeniero industrial trascender su quehacer como simple operador y asumir la responsabilidad de convertirse en un arquitecto del sentido organizacional y productivo. Al recorrer los estadios en la espiral, optimiza recursos y estructuras complejas desde una base ética y enfocada a la sostenibilidad sistema organizacional. Es importante destacar que esta dinámica cobra especial relevancia en el marco de los estándares contemporáneos del IISE (2021) y PMI (2025), donde la tecnología actúa como catalizador en ese viaje investigativo a través de los distintos niveles de la espiral. En este sentido, la visión artificial mejora la percepción inicial, mientras que el aprendizaje automático impulsa la autonomía en niveles integrativos superiores. No obstante, este avance no está exento de desafíos, ya que la inteligencia artificial puede introducir una opacidad que exige una vigilancia constante. Por ello, gestionar procesos hoy implica comprender cómo la transparencia incide en la confianza y cómo la sostenibilidad condiciona la arquitectura del sistema organizacional. La tecnología no sustituye la estrategia, sino que amplifica su capacidad de comprensión, siempre que se mantenga una supervisión crítica de los ecosistemas complejos.

Además, hay que tener cuidado con los peligros del reduccionismo algorítmico. Asumir que los datos son todo puede llevar a ignorar aspectos importantes de lo humano en favor de correlaciones frías. Aunque la tecnología tiene un gran potencial para detectar patrones complejos, no puede otorgar significado por sí sola. Frente a este mecanicismo digital rígido como lo fue el taylorismo hace décadas, el ingeniero debe ser responsable de dar sentido a los datos y a los procesos; su misión es interpretar resultados dentro de un contexto superior que aporte propósito y valor humano a esos patrones.

La espiral holística difumina las fronteras entre el conocimiento descriptivo o explicativo y la gestión transformadora, por eso hoy ya no tiene sentido hablar de investigación pura e investigación aplicada. No se trata simplemente de aplicar algoritmos metodológicos; es una forma activa que permite diseñar procesos donde la lógica técnica encuentra su límite en principios éticos firmes. Esta renovación intelectual define el futuro profesional: recorrer esa espiral forma al ingeniero industrial

como estrategia del saber, un líder capaz de convertir la incertidumbre en una arquitectura significativa para el futuro industrial. El ingeniero debe ser un arquitecto del sentido; su misión es interpretar resultados dentro de un contexto superior que aporte propósito y valor humano a esos patrones.

Además de contar con la aplicación de algoritmos o métodos, es importante incorporar una forma activa de seguimiento, control y valoración que permita diseñar procesos en los que la lógica técnica encuentra su límite en principios éticos coherentes. Esta renovación intelectual redefine el horizonte profesional, al formar al ingeniero industrial como un estratega del saber: un líder capaz de transformar la incertidumbre en una arquitectura significativa para el futuro industrial. En este marco, el ingeniero asume el rol de arquitecto del sentido, cuya misión consiste en interpretar los resultados dentro de un contexto superior que otorgue propósito y valor humano a los patrones emergentes.

EL INGENIERO INDUSTRIAL COMO ESTRATEGA DEL SABER: UN NUEVO PERFIL PARA LA COMPLEJIDAD

En el contexto de la cuarta revolución industrial, el rol del ingeniero industrial experimenta una transformación profunda desde una perspectiva holística. Ya no se limita a la aplicación de técnicas, sino que se configura como un estratega capaz de integrar dimensiones técnicas, humanas, cognitivas y algorítmicas dentro de las organizaciones. Esta evolución implica el tránsito desde el uso de métodos aislados hacia el diseño de ecosistemas sociotécnicos complejos, en los que cada decisión impacta simultáneamente lo social, lo ambiental y lo tecnológico, pues se entiende la realidad productiva como una red interconectada más que como una estructura lineal.

Si bien el dominio de tecnologías emergentes como la analítica de datos y la inteligencia artificial generativa resulta indispensable, no es suficiente por sí solo. Se requiere un enfoque ampliado en el que la técnica esté subordinada a una comprensión integral del sistema. En este sentido, la ingeniería industrial, por su naturaleza integradora, demanda la articulación del rigor analítico con una visión ética y humanista. Bajo esta perspectiva, los trabajadores dejan de ser concebidos como recursos para ser reconocidos como personas integrales, con dignidad, capacidades y derechos, insertos en un contexto social, relacional y económico, lo que exige diseños centrados en la experiencia humana, la equidad y el bienestar organizacional.

La llegada de la inteligencia artificial generativa plantea desafíos importantes. Los algoritmos suelen aprender de datos que replican sesgos históricos y desigualdades estructurales. Eso significa que los ingenieros deben estar atentos y críticos; su trabajo implica interpretar los límites de esos modelos, detectar sesgos algorítmicos y asegurarse de que todo se maneje con principios éticos intactos. La inteligencia artificial generativa tiene que salir de esa “caja negra” para ser más transparente y relevante y eso solo se logra al supeditar la interpretación de los datos empíricos a criterios basados en el conocimiento, la reflexión y la normatividad.

En este nuevo panorama, la responsabilidad social y ambiental tiene que ser el eje central en el diseño de sistemas. Hablamos de sostenibilidad en términos de cadenas de suministro regenerativas y economía circular, integrando las externalidades ecológicas en nuestras decisiones. El ingeniero industrial tiene que entender que la eficiencia técnica no se puede separar del bienestar humano ni del cuidado del planeta. Como puente entre el conocimiento humano y el algorítmico, él o ella necesita supervisar cómo funcionan estos sistemas inteligentes, para garantizar estructuras que incorporen valores democráticos y equidad para las generaciones futuras.

Este cambio en la profesión exige transformaciones significativas en los currículos educativos; ya no basta con enseñar solo técnicas prácticas. La formación universitaria debe enfocarse también en desarrollar habilidades críticas: saber navegar conscientemente por distintas capas del conocimiento holístico. Esto implica un diseño holográfico que vaya desde observar fenómenos en contextos reales hasta involucrarse éticamente en proyectos con impacto verdadero. Por eso, las evaluaciones

académicas tienen que cambiar también; dejar atrás medir resultados aislados para validar conexiones entre conceptos.

Este enfoque pondera cómo los estudiantes pueden combinar marcos teóricos con evidencia real y reflexión crítica, para alejarse del aprendizaje mecánico. Para hacerlo bien, es crucial fomentar ciertas competencias:

- Pensamiento sistémico-relacional: La aptitud para identificar conexiones e interdependencias donde el reduccionismo tradicional solo percibe fragmentos.
- Síntesis transdisciplinaria: La habilidad para unificar el dato técnico-numérico con el valor ético y humanista.
- Vigilancia crítica ante la opacidad tecnológica: La capacidad de cuestionar la lógica algorítmica, y asegurar que esta se someta siempre al juicio crítico y al bienestar del ecosistema sociotécnico.

En lugar del enfoque tradicional basado en contenidos, esta visión evalúa el grado de preparación del futuro profesional para gestionar la complejidad y desarrollar soluciones responsables. En este marco, la universidad deja de concebirse como un espacio fragmentado para convertirse en un laboratorio de pensamiento sistémico, donde se cultiva una sensibilidad hacia la complejidad. De este modo, se forma al ingeniero industrial no solo para desempeñarse dentro de la industria, sino también para liderar su transformación ética.

Es importante destacar que el estrategia del saber va mucho más allá de la gestión de flujos informativos y de la optimización de procesos automatizados; su propósito fundamental es de carácter humanista: salvaguardar la dignidad humana en entornos crecientemente mediados por la tecnología. El ciclo ético en Ingeniería Industrial se completa cuando el profesional garantiza que la tecnología funcione como medio para el desarrollo humano y la sostenibilidad del ecosistema, y evita la reducción del trabajador a una mera cifra estadística.

SÍNTESIS

Esta búsqueda de integración no es algo nuevo; ya ha estado en marcha desde hace tiempo, desde la escuela sociotécnica de Tavistock hasta los enfoques de sistemas blandos. En este contexto, el concepto gnoseológico es fundamental, en tanto permite sistematizar ideas que habían sido intuitas previamente, pero que no lograron consolidarse plenamente en la práctica. Mientras el paradigma clásico, influenciado por Taylor (1911), se centraba en la fragmentación de tareas y en el análisis de partes aisladas, este nuevo enfoque pone de relieve relaciones dinámicas y redes de coproducción que otorgan sentido al sistema en su conjunto (Maturana y Varela, 1980).

Con la llegada de la Industria 4.0, que se caracteriza por sistemas ciberfísicos y algoritmos autónomos, la realidad productiva se vuelve aún más compleja. Un profesional que adopta este enfoque gnoseológico no solo usa herramientas; se convierte en un científico de la gestión. Desde esta perspectiva, la eficiencia deja de ser solo una meta y se transforma en un medio para construir sistemas más justos y sostenibles. Así, técnica y ética encuentran un equilibrio dinámico, evitando que una se convierta en una simple instrumentalización o que la otra resulte impotente (Hurtado de Barrera, 2010).

La madurez disciplinar se expresa en la capacidad de habitar la complejidad con rigor y flexibilidad. El ingeniero industrial del siglo XXI ya no es solo un técnico o un gestor de recursos; es un estratega del saber. Su papel consiste en asegurar que el avance tecnológico mantenga su humanidad. Aunque el enfoque gnoseológico no elimina la incertidumbre ni las tensiones entre automatización y empleo digno, í proporciona un marco de pensamiento que permite abordar estas

paradojas sin simplificarlas, convirtiendo la inestabilidad en un elemento comprensible y significativo (Prigogine y Stengers, 1984).

El estrategia del saber asume una misión de carácter humanista: preservar la dignidad humana en entornos crecientemente mediados por la tecnología. El ciclo ético de la disciplina se completa cuando la tecnología se concibe como un medio para el bienestar humano y el éxito en Ingeniería Industrial se expresa en su por la capacidad de integrar el poder de una tecnología eficaz y éticamente guiada con la dignidad humana. Este recorrido por la espiral holística redefine el significado de ser ingeniero industrial en la actualidad, al convertir la incertidumbre en una construcción de sentido compartido.

REFERENCIAS

- Baca Urbina, G., et al. (2014). *Ingeniería industrial y de sistemas*. McGraw-Hill.
- Barrera Morales, M. F. (2010). *Holística*. Bogotá: Quirón.
- Capra, F. (1996). *The web of life: A new scientific understanding of living systems*. Anchor Books.
- Capra, F. (1982). *The Turning Point*. Estados Unidos: Simon & Schuster.
- Checkland, P. (1981). *Systems thinking, systems practice*. John Wiley & Sons.
- Gutarra Meza, F. (2015). *Introducción a la ingeniería industrial*. Universidad Continental.
- Groover, M. P. (2007). *Work systems: The methods, measurement, & management of work*. Pearson Prentice Hall.
- Hurtado de Barrera, J. (2010). *Metodología de la investigación: Guía para una comprensión holística de la ciencia*. Quirón Ediciones.
- Institute of Industrial and Systems Engineers. (2021). *Industrial and systems engineering body of knowledge*. IISE.
- Koestler, A. (1967) *The Ghost in the Machine*. Londres: Hutchinson.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Maturana, H., & Varela, F. (1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. D. Reidel Publishing.
- Morgan, G. (1986). *Images of organization*. Sage Publications.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1984). *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Bantam Books.
- Project Management Institute. (2025). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (8th ed.)*. PMI. https://www.pmi.org/standards/pmbok_
- Scott, W. R. (2003). *Organizations: Rational, natural, and open systems*. Prentice Hall
- Smuts, J. (1926). *Holism and Evolution*. New York: Macmillan & Co.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper & Brothers.

- Turner, W. C., Mize, J. H., Case, K. E., & Nazemetz, J. W. (1993). *Introduction to Industrial and Systems Engineering*. Prentice Hall.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Foundations, development, and applications*. George Braziller.
- Weil, P. 1993. *Holística: una nueva visión y abordaje de lo real*. Bogotá: San Pablo.
- Zandin, K. B. (2004). *Maynard's industrial engineering handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.

BIODATA

Anel Carolina Núñez Herrera. Ingeniera Industrial con doctorados en ciencias de la educación y ciencias gerenciales. Certificación internacional en la comprensión holística de la ciencia y de la investigación. Asesora de proyectos, tutora de investigadores. Investigadora y orientadora científica en Ciea-Sypal.