

ERGONOMÍA COGNITIVA Y SEGUIMIENTO OCULAR EN LA PERFORACIÓN DE POZOS SUBMARINOS: UNA REVISIÓN INTEGRADORA

Natalia Mattos da Silva¹

Eugenio Andrés Díaz Merino²

Irander Izaquiel Paulo³

Resumen

La tecnología de seguimiento ocular se ha explorado en diversos contextos para monitorear el comportamiento humano mediante los movimientos oculares. En la industria del petróleo y el gas, donde las operaciones requieren alta concentración y una rápida toma de decisiones, permite identificar patrones de atención visual, carga cognitiva y fatiga, factores determinantes para el rendimiento y la seguridad. Sin embargo, su uso, especialmente en operaciones críticas, está poco documentado, lo que representa una brecha en el conocimiento científico. Este estudio tuvo como objetivo identificar el uso del seguimiento ocular en la perforación de pozos submarinos y comprender la interacción entre las personas y los sistemas de trabajo, según lo dicta la ergonomía. Mediante una revisión bibliográfica integradora, se siguieron seis pasos: identificación del tema y la pregunta de investigación; criterios de inclusión y exclusión; selección de estudios de bases de datos científicas; categorización y síntesis de los estudios; análisis e interpretación de los resultados; y presentación de la revisión. Se identificaron seis estudios que aplicaron el seguimiento ocular a las actividades de control de pozos. Los resultados indican su eficacia en la investigación de procesos cognitivos como la conciencia situacional, la toma de decisiones y los patrones de atención visual. Los modelos predictivos identificaron comportamientos inseguros con alta precisión, lo que destaca su potencial para optimizar la capacitación y mejorar la ergonomía de los sistemas de control en operaciones de alto riesgo. Los estudios se realizaron en entornos simulados, lo que refuerza la necesidad de validación en escenarios reales. Investigaciones futuras podrían explorar los centros de operaciones remotos y considerar el impacto de la organización del trabajo y la cultura organizacional en este sector.

Palabras clave: Seguimiento ocular, perforación *offshore*, ergonomía cognitiva, industria del petróleo y el gas, *offshore*.

1. INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos submarinos es un proceso esencial en la exploración y producción de petróleo y gas en yacimientos ubicados bajo el lecho marino. Consiste en perforar formaciones geológicas del lecho marino para alcanzar depósitos de hidrocarburos

1UFSC (Ingeniería de Producción/UFSC). <https://orcid.org/0000-0002-8483-6555> *
natalia.tese2024@gmail.com

2UFSC (Ingeniería de Producción/UFSC) <https://orcid.org/0000-0002-7113-6031>

3UFSC (Diseño/UFSC) <https://orcid.org/0000-0003-3483-9632>



ubicados a profundidades que van desde unos pocos cientos hasta miles de metros bajo la superficie.

Las operaciones de perforación *offshore* son altamente complejas debido a diversos factores, como el aislamiento del entorno offshore, la necesidad de equipos de alta tecnología, la rigurosa gestión de riesgos y regulaciones, y la toma de decisiones críticas en tiempo real. En este escenario, la seguridad y la eficiencia operacionales son de suma importancia. Las actividades de perforación de pozos submarinos requieren un alto nivel de habilidad y conocimiento, y el entorno de trabajo se caracteriza por condiciones específicas, donde las decisiones críticas deben tomarse en tiempo real y con la mayor rapidez posible. En este contexto, referirse al "error humano" como la principal causa de accidentes se considera una simplificación excesiva que ignora la complejidad y variabilidad del trabajo real (Daniellou et al., 2010). Los accidentes graves o fatales ocurren debido a una combinación de fallas en diversas barreras de prevención o problemas relacionados con cuestiones organizativas o de diseño, y rara vez son resultado de una falla individual aislada.

La industria del petróleo y el gas enfrenta crecientes desafíos relacionados con la seguridad y la eficiencia en las operaciones de perforación de pozos submarinos. Estos desafíos surgen de la complejidad de la actividad, el trabajo humano y la interacción de múltiples factores (técnicos, organizativos, humanos, sociales y económicos). Por lo tanto, factores humanos como la atención, la toma de decisiones y el conocimiento de la situación son cruciales. El trabajo prescrito, por ejemplo, por muy detallado que sea, no refleja plenamente la realidad y la variabilidad impredecible de la vida cotidiana. La seguridad en el campo no se basa únicamente en el cumplimiento de las normas ("seguridad estandarizada"), sino en la "seguridad en acción", que es la capacidad de responder adecuadamente en tiempo real mediante la adaptación de los procedimientos y la experiencia de las personas (Daniellou et al., 2010).

Dado que los trabajadores de este sector deben lidiar constantemente con complejas interfaces hombre-máquina e instrumentación altamente tecnológica, la ergonomía, que investiga la interacción entre personas, sistemas y entornos laborales, es esencial para comprender las actividades laborales. Según Iida y Guimarães (2016), los determinantes laborales incluyen factores internos como la edad, el estado físico/mental y la experiencia profesional, y factores externos como las condiciones de trabajo, los estándares, la organización y los equipos utilizados.

Para el ergónomo, es fundamental comprender no solo los aspectos visibles del trabajo, como los movimientos y las posturas, sino también los elementos invisibles que influyen en la actividad laboral, como el razonamiento, la actividad mental, el conocimiento, las emociones y las sensaciones involucradas (Ferreira, 2024). Así, en este complejo contexto de la industria del petróleo y el gas, destaca la ergonomía cognitiva. A través de ella, es posible investigar cómo los procesos mentales, emocionales y afectivos de los individuos se involucran en sus interacciones con sistemas, entornos, interfaces u objetos (Silva et al., 2021). La ergonomía cognitiva aborda cuestiones como la distribución de la atención, que examina cómo los trabajadores gestionan múltiples tareas simultáneamente; la toma de decisiones, analizando cómo se toman las decisiones en diferentes contextos; y el desarrollo de habilidades de aprendizaje (Cañas et al., 2011). Según Torres (2021), la ergonomía cognitiva estudia los procesos mentales (como la percepción, la memoria, el razonamiento y las respuestas motoras) involucrados en las interacciones entre trabajadores y sistemas. Sus principales temas de estudio incluyen la carga mental, la toma de decisiones, la interacción hombre-máquina, la fiabilidad humana, el estrés laboral y el trabajo en equipo. Este enfoque busca aumentar la eficiencia y promover la seguridad y el bienestar mental de los trabajadores (Cañas et al., 2011).

En un sistema sociotécnico complejo, a la hora de tomar decisiones, esto implica la necesidad de interacción entre habilidades técnicas (ingeniería, administración, perforación) y habilidades no técnicas (comunicación, liderazgo, trabajo en equipo, conocimiento de la situación), para que sea apropiada y promueva tanto un mejor desempeño como la seguridad operacional (Flin et al., 2008).

Por lo tanto, tecnologías como el seguimiento ocular *se han* utilizado para monitorear y evaluar el comportamiento humano. La tecnología *de seguimiento ocular* consiste en un sistema que utiliza gafas equipadas con sensores ópticos conectados a un software especializado capaz de capturar y analizar los movimientos oculares de un individuo en tiempo real. Esta tecnología permite identificar con precisión dónde, cuándo y durante cuánto tiempo una persona fija su mirada en diferentes puntos de un campo visual. Esto permite mapear la trayectoria de la mirada, determinar áreas de mayor atención o descuido y evaluar el comportamiento visual durante la ejecución de tareas. La tecnología de seguimiento ocular se ha utilizado desde la década de 1970 para investigar los procesos de toma de decisiones (Kodappully et al., 2016). Según Merino et al. (2020), los humanos realizan una serie de acciones, toman decisiones y exhiben comportamientos directamente vinculados a los movimientos oculares y la fijación de la mirada. Al reflexionar sobre los dominios de especialización en ergonomía, es claro que existen dos dominios relacionados con el uso del *eye tracking*: el físico (capacidad sensorial de



visión, ya que los ojos están formados por varios músculos que controlan sus movimientos) y el cognitivo (atención, toma de decisiones, carga mental, entre otros).

El seguimiento ocular, como tecnología utilizada en la investigación científica, puede emplearse en actividades no *críticas*, como las compras (Gallina et al., 2022) y la informática (Costa, 2024), y también en contextos complejos, como herramienta para evaluar la carga mental, reconocer la pérdida de conciencia situacional, detectar distracciones, falta de atención y fatiga (Li et al., 2023). Gobbi et al. (2017) informan que las principales medidas que puede proporcionar *el seguimiento ocular* son las fijaciones de la mirada (número, tiempo y dispersión de las fijaciones), los movimientos sacádicos (basados en las fijaciones de un punto a otro) y los parpadeos (número y duración). Los estudios en aviación que utilizan cámaras y gafas de seguimiento ocular para analizar el comportamiento de los pilotos durante vuelos reales, operaciones militares y aviación general demuestran que el seguimiento ocular se puede aplicar de forma segura a tareas en dominios críticos para la seguridad, sin afectar las operaciones ni la ejecución de las tareas (IOGP, 2024, pág. 6).

Sin embargo, su uso en operaciones críticas para la seguridad ha sido poco común, sin registros de su uso en operaciones de pozos en tiempo real (IOGP, 2024, p. 6). Los estudios indican que tecnologías como el seguimiento ocular han demostrado potencial en otros sectores críticos, como las industrias de aviación, marítima y de la construcción, y se debe fomentar su aplicación en operaciones *offshore* (Martínez- Márquez et al., 2021). En el contexto de las operaciones de perforación *offshore*, la pérdida de control del pozo es un riesgo crítico, que requiere una alta vigilancia por parte de los operadores. Para Ikuma et al. (2014), los principales procesos que influyen en el desempeño de un operador son: percibir información relevante (medida por el movimiento ocular), integrar datos con los objetivos de la tarea (evaluados a través de calificaciones de carga de trabajo percibida) y predecir eventos futuros y estados del sistema (evaluados a través de medidas de conocimiento de la situación).

En este escenario, el seguimiento ocular puede ayudar a identificar problemas de seguridad y, en consecuencia, aumentar la fiabilidad humana, optimizando la atención del operador y la toma de decisiones en operaciones de alto riesgo (IOGP, 2024, p. 6). La falta de orientación y la ejecución inadecuada en situaciones anormales pueden identificarse mediante estudios experimentales que utilizan el seguimiento ocular para comprender el comportamiento cognitivo de los operadores de la sala de control (Kodappully et al., 2016). Por lo tanto, es necesario explorar el uso del seguimiento ocular para evaluar y mejorar el rendimiento de los trabajadores en situaciones críticas de control de pozos *en alta mar*.

Dada esta necesidad, basada en la relevancia práctica y el impacto potencial de la tecnología en un sector de alto riesgo, el objetivo de esta investigación fue identificar el uso del seguimiento ocular en la perforación de pozos submarinos y comprender la interacción entre los humanos y los sistemas de trabajo según lo dirige la ergonomía.

La justificación de este estudio se basa tanto en el potencial de la innovación tecnológica mediante el uso del *seguimiento ocular* para comprender los procesos cognitivos, como en el impacto potencial de los riesgos relacionados con factores ergonómicos, como la fatiga, que afecta la atención, la conciencia de la situación, la seguridad operativa y la toma de decisiones. El tema de la seguridad y el desempeño humano en las operaciones de exploración petrolera *en alta mar* sigue siendo poco explorado en países con una intensa actividad de exploración como Brasil, que desempeña un papel crucial en la producción mundial de petróleo y gas. En 2023, Brasil fue el octavo mayor productor de petróleo del mundo, solo por detrás de los mayores productores: Estados Unidos, Arabia Saudita, Rusia, Canadá, Irak, China e Irán (IBP, 2024). A pesar de sus contribuciones al sector, Brasil aún tiene lagunas en publicaciones científicas y estudios centrados en factores humanos y tecnologías como el seguimiento ocular en contextos de perforación en alta mar del mundo real. La Figura 1 demuestra la síntesis e interconexión de los temas de investigación.

**Figura 1** - Resumen y conexión de los temas de investigación

Fuente: Elaborado por el autores (2024)

2. MÉTODO

Esta revisión integradora de la literatura, realizada en octubre de 2024, utiliza una metodología integrada que abarca la revisión, el análisis y la síntesis de la literatura representativa sobre un tema, con el objetivo de generar nuevos marcos teóricos y perspectivas sobre un tema (Torraco , 2005). Las revisiones integradoras tienen el rigor metodológico de las revisiones sistemáticas, lo que permite realizar estudios de revisión en diversas áreas del conocimiento (Mattos, 2015). Este método de investigación permite un análisis del conocimiento ya desarrollado en estudios previos sobre un tema específico (Broome, 2000). También promueve una comprensión holística de los diversos factores que influyen en un tema determinado al identificar patrones, tendencias y brechas en el panorama de la investigación, lo que permite orientar la investigación futura (Konstantinidis , 2024). Así, para desarrollar esta revisión, seguimos los seis pasos del proceso de revisión integradora discutidos por Botelho et al. (2011) y aplicados por Paulo et al. (2023), como se muestra en la Figura 2 y se describe a continuación.

Figura 2 - Resumen visual de los pasos de la Revisión Integrativa de Literatura



Fuente – Elaborado por los autores con base en Botelho et al. (2011).

1ª Etapa: Identificación del tema y formulación de la pregunta de investigación

Según Mendes et al. (2008), esta etapa inicial debe incluir la definición del problema y la formulación de la pregunta de investigación. Whittemore y Knafl (2005) destacan que, con una clara identificación del problema y un propósito bien definido, es posible establecer el enfoque e identificar las delimitaciones en el proceso de revisión integrativa. Por lo tanto, una vez definidos el problema y la pregunta de investigación, los siguientes pasos consisten en formular la estrategia de búsqueda mediante la identificación de descriptores o palabras clave, así como en la definición de las bases de datos (Broome , 2006).

2ª Etapa: Definición de criterios de inclusión y exclusión

En esta etapa, se determinaron los criterios de inclusión y exclusión de la investigación. Según Mattos (2015), establecer estos criterios de forma cuidadosa y transparente garantiza que las conclusiones finales de la revisión sean exhaustivas, de alta calidad y fiables. Algunos ejemplos de criterios de inclusión y exclusión son: el período de tiempo, el tipo de documento, el idioma y el contenido de acceso abierto o cerrado (Botelho et al., 2011).



3ª Etapa: Identificación de estudios preseleccionados y seleccionados

En esta etapa, el revisor busca organizar y resumir la información de forma concisa, creando una base de datos de fácil acceso y manejo (Mendes et al., 2008).

4ª Etapa: Categorización y evaluación de los estudios seleccionados

Según Ganong (1987), este paso es equivalente al análisis de datos en la investigación convencional. La matriz de síntesis es una herramienta que facilita la interpretación y la construcción de la revisión integrativa y depende principalmente de la creatividad y la organización del investigador para la presentación de los datos (Klopper et al., 2007).

5ª Etapa: Análisis e interpretación de resultados

Para Torracó (2005), el análisis crítico de datos identifica las fortalezas y principales contribuciones de la literatura, así como las deficiencias, omisiones, inexactitudes y otros aspectos problemáticos. Por lo tanto, al destacar las fortalezas e identificar las lagunas en la literatura existente, el análisis y la interpretación de los resultados son un paso fundamental para mejorar la base de conocimientos e identificar vías para futuras investigaciones.

Etapa 6: Presentación de la revisión y síntesis de conocimientos

Finalmente, esta etapa tiene como objetivo describir detalladamente todos los pasos realizados previamente, presentando los principales resultados obtenidos. Según Botelho et al. (2011), una revisión integradora debería permitir la replicación del estudio. Para Konstantinidis (2024), sintetizar los resultados en un modelo permite representar el proceso de integración, sus implicaciones para la práctica y reconocer las limitaciones inherentes a la revisión.

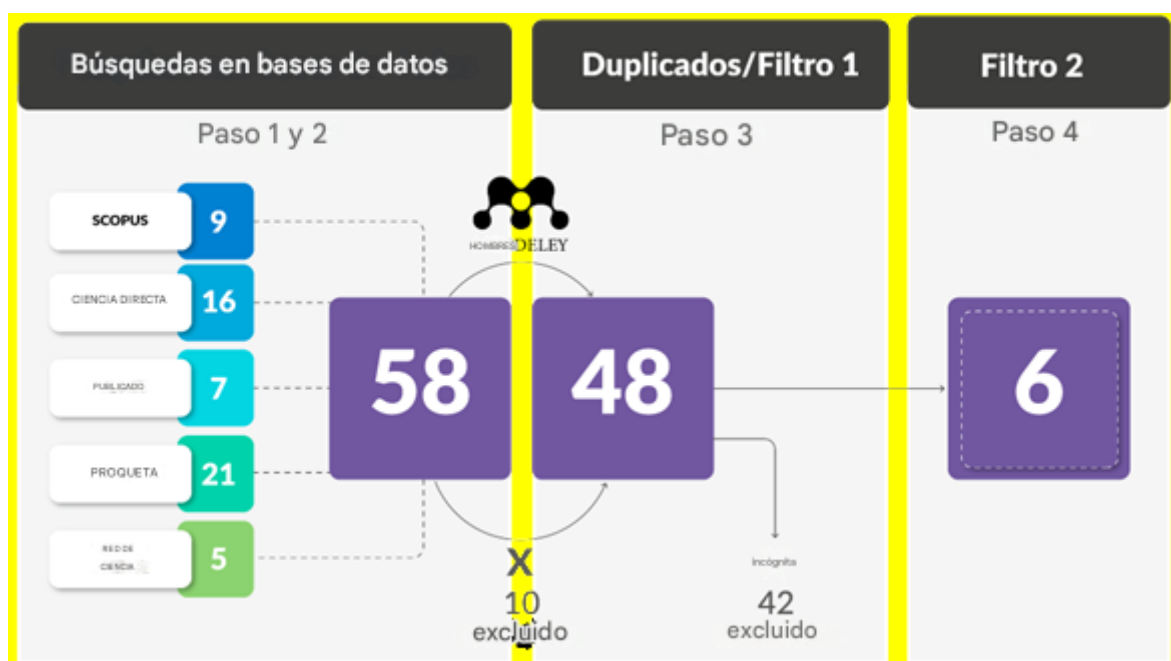
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la **primera etapa** de este estudio, se definieron el tema, el problema y la pregunta de investigación. Los temas de investigación identificados fueron: ergonomía cognitiva, tecnología de seguimiento ocular y perforación de pozos submarinos. El problema de investigación identificado fue la falta de conocimiento sobre la literatura científica relacionada con el uso de la tecnología de seguimiento ocular en la industria del petróleo y el gas. Una vez definidos el tema y el problema, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué estudios se están realizando utilizando el seguimiento ocular en la perforación de pozos submarinos?

La definición de las cadenas de búsqueda se basó en descriptores recurrentes en la literatura sobre ergonomía en entornos *offshore*, y las bases de datos seleccionadas se eligieron por su reconocida relevancia académica y amplia cobertura de publicaciones científicas en las áreas de salud ocupacional, ingeniería y ergonomía. Como estrategia de búsqueda, se crearon *cadenas de búsqueda* en dos idiomas: inglés (" *seguimiento ocular* " o " *seguimiento de la mirada* ") y (" *perforación* " o " *pozo* "). *perforación* " O " *perforación* " operaciones " O " *petróleo perforación* ") Y (" *offshore* " O " *petróleo plataformas o plataformas marinas operaciones* ") ; y en portugués: (" *seguimiento ocular* " O " *seguimiento de la mirada* ") Y (" *perforación* " O " *perforación de pozos* " O " *operaciones de perforación* " O " *perforación petrolera* ") Y (" *offshore* " O " *plataformas petrolíferas* " O " *operaciones offshore* "). Las bases de datos internacionales elegidas fueron: *Scopus*, *Disertaciones y Tesis*, *ProQuest*, *Web of Science*, *Sciencedirect*, *Scielo* y *PUBMED*; y las bases de datos nacionales: Biblioteca Digital Brasileña de Tesis y Disertaciones - BDTD y Catálogo de Tesis y Disertaciones de Capes.

Como resultado de la **segunda etapa** se definieron los siguientes criterios de inclusión: marco temporal de 2014 a 2024, documentos de acceso abierto del tipo artículo, *congreso Artículos*, tesis y disertaciones, seleccionados en inglés, portugués y español. Se incluyó el inglés por ser el idioma principal de la producción científica mundial, especialmente en ingeniería, ergonomía y petróleo, mientras que se consideró el portugués y el español para incluir estudios realizados en países latinoamericanos con operaciones en la industria *offshore*. Los criterios de exclusión fueron: capítulos de libros, documentos de acceso cerrado o de pago y artículos de revisión (sistemáticos, integrativos y narrativos), con el objetivo de priorizar estudios originales y con datos primarios.

Con los criterios establecidos se realizó la **tercera etapa de la investigación**. Se **encontraron 58 documentos**: *Disertaciones y Tesis ProQuest* (21), *Sciencedirect* (16), *Scopus* (9), *PUBMED* (7), *Web of Science* (5), *Scielo* (0), Biblioteca Digital Brasileña de Tesis y Disertaciones - BDTD (0) y Catálogo de Tesis y Disertaciones de Capes (0). Los 58 documentos se ingresaron en el *software Mendeley*. Para la gestión de referencias, se realizó una verificación de archivos duplicados, que totalizaron 10. A continuación, se filtraron los documentos mediante la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave para identificar aquellos que se alineaban más con la investigación. Tras esta filtración, seis documentos presentaron estudios que utilizaron tecnología de seguimiento ocular en actividades de perforación de pozos submarinos. La Figura 3 presenta la sistematización del proceso de filtrado para la investigación encontrada.

**Figura 3** - Filtrado de búsqueda encontró

Fuente: Elaboración propia con base en Botelho et al. (2011)

Con los artículos seleccionados **se inició la etapa 4**, en la que se realizó una lectura detallada de los documentos, seguida de la categorización y extracción de datos. Todavía en la etapa 4, se armó la matriz de síntesis para cada uno de los estudios seleccionados (tabla 2):

Tabla 2 - Sede síntesis resultante

MATRIZ DE SÍNTESIS 1	(Naqvi y otros , 2019)
Título	<i>Uso del análisis de contenido mediante capacitación basada en simulación para operaciones de perforación offshore: implicaciones para la seguridad del proceso</i>
País	EE.UU
Vehículo de publicación	<i>Seguridad de procesos y protección del medio ambiente</i>
Percentil del vehículo de publicación	95%
Objetivo	Presentar el uso potencial del análisis de contenido como herramienta para optimizar el entrenamiento basado en simulación, que puede aplicarse para mejorar los factores humanos en las actividades de perforación y control de pozos.
Método	Los autores realizaron un análisis de contenido de un escenario de simulación de perforación marina utilizando el simulador de realidad virtual (VRDS) de la Universidad de Oklahoma, con dos principiantes y dos expertos como asistentes de perforación. Durante la actividad de entrada, se introdujo una anomalía para evaluar la adaptación de los participantes. Las conversaciones grabadas con gafas de seguimiento ocular se transcribieron y analizaron cualitativamente, categorizando las interacciones como solicitud, confusión y respaldo. El software generó mapas semánticos. Pajek destacó las diferencias entre principiantes y expertos, destacando el impacto de la experiencia en la comunicación y la respuesta ante escenarios anómalos. El análisis fue validado por un ingeniero experimentado, lo que garantizó la precisión de los resultados.

Resultados	Los resultados del análisis de contenido se tradujeron en mapas semánticos . Al comparar los mapas semánticos de principiantes y expertos, se identificaron diferencias significativas en los patrones de comunicación y la eficiencia operativa, mostrando los expertos menor confusión y mayor rendimiento operativo. El estudio demostró cómo los factores humanos influyen en el rendimiento, contribuyendo a la optimización de la capacitación basada en simulación en la industria de la perforación <i>offshore</i> .
Contexto real o simulado	Simulado
Limitaciones	El reducido número de participantes (cuatro) limita la generalización de los resultados. Además, el estudio se realizó en un entorno simulado y podría no reflejar plenamente las condiciones de una operación real.
Futuros estudios	Incluir un mayor número de participantes. operaciones reales de perforación <i>offshore</i> para validar los hallazgos obtenidos en el entorno simulado. Integre el análisis de contenido con otras herramientas de seguimiento de procesos, como el seguimiento ocular, para optimizar los escenarios de simulación de control de pozos. Optimice los marcos de capacitación y evaluación mediante la incorporación del análisis de factores humanos.

MATRIZ DE SÍNTESIS 2	(Chen y otros, 2024)
Título	<i>Método de identificación de conductas de riesgo para la seguridad en operadores de perforación offshore</i>
País	Porcelana
Vehículo de publicación	<i>Ingeniería oceánica</i>
Percentil del vehículo de publicación	87%
Objetivo	Desarrollar un método basado en seguimiento ocular y el modelo <i>TPE- LightGBM</i> para identificar conductas de riesgo en operadores de perforación <i>offshore</i> , enfocándose en la fatiga e inexperiencia.
Método	modelo de aprendizaje automático <i>TPE- LightGBM</i> para identificar comportamientos de riesgo entre los operadores de perforación offshore. Se recopilieron datos del movimiento ocular de 42 operadores (de 21 a 30 años) durante operaciones simuladas, cubriendo la fijación ocular, los movimientos sacádicos y el diámetro pupilar. El escenario se dividió en áreas sensibles, como el cabezal de perforación, y se analizó mediante mapas de calor. Se seleccionaron cinco parámetros críticos de seguimiento ocular, incluido el tiempo total de fijación y el diámetro pupilar medio. El modelo <i>LightGBM</i> se optimizó con el algoritmo TPE para ajustar los hiperparámetros , lo que garantiza una alta eficiencia. La validación cruzada de diez pasos confirmó la precisión del modelo, que utilizó el 72% de los datos para el entrenamiento y el 28% para las pruebas.
Resultados	modelo <i>TPE- LightGBM</i> Se ha demostrado que es eficaz para identificar en tiempo real comportamientos de riesgo en operadores de perforación <i>offshore</i> , como fatiga e inexperiencia, sin falsos positivos o negativos. El tiempo promedio de adquisición de datos durante las operaciones de fatiga fue significativamente más largo (248,41 segundos) en comparación con las operaciones normales (174,38 segundos), lo que refleja la pérdida de eficiencia de los operadores fatigados. El modelo superó a otros algoritmos, como <i>XGBoost</i> y <i>Random Forest</i> , en términos de precisión y eficiencia. Si bien el modelo <i>LightGBM optimizado</i> no mostró falsas alarmas, los otros algoritmos tuvieron un rendimiento inferior en cuanto a precisión, con <i>XGBoost</i> genera 2 falsas alarmas y <i>Random Forest</i> , 6. Estos resultados demuestran el potencial de integrar datos oculares con algoritmos avanzados para monitorear comportamientos de riesgo, con aplicaciones prometedoras tanto en simulaciones como en escenarios del mundo real en el futuro.
Contexto real o simulado	Simulado



Limitaciones	El estudio se realizó en un entorno controlado con buena iluminación y estabilidad de la cabeza, lo que limita su aplicabilidad a operaciones reales con movimiento constante e iluminación variable. La muestra de 42 operadores fue relativamente pequeña, lo que limita la generalización de los resultados a la <i>población general de operadores offshore</i> . Además, si bien el método ha demostrado su eficacia en simulaciones, carece de validación en escenarios reales, donde factores como el clima, la carga de trabajo variable y la fatiga pueden afectar significativamente el rendimiento.
Futuros estudios	Desarrollar métodos que permitan identificar comportamientos de riesgo en entornos reales, donde los operadores tienen mayor movilidad. Integrar el análisis de contenido con otras herramientas, como tecnologías de realidad aumentada o inteligencia artificial, para brindar apoyo adicional en la identificación de comportamientos de riesgo en tiempo real. Incluir una muestra más grande y diversa de operadores, que abarque diferentes niveles de experiencia y exposición a diferentes condiciones operativas.

MATRIZ DE SÍNTESIS 3	(Naqvi y otros, 2020)
Título	<i>Capacitación basada en simulación para mejorar la seguridad de los procesos en operaciones de energía offshore: seguimiento de procesos mediante seguimiento ocular</i>
País	EE.UU
Vehículo de publicación	<i>Seguridad de procesos y protección del medio ambiente</i>
Percentil del vehículo de publicación	95%
Objetivo	Aplicar la metodología de seguimiento ocular en simulaciones de control de pozos offshore para identificar patrones de adquisición de información, comparando el desempeño de operadores novatos y experimentados.
Método	simulador portátil <i>DrillSim:50</i> , ampliamente reconocido por sus certificaciones de control de pozos otorgadas por la IADC y la IWCF. La recopilación de datos se realizó mediante gafas de seguimiento ocular que registraron las fijaciones y los movimientos sacádicos durante la simulación, con la participación de 14 participantes (12 principiantes y 2 expertos) de la Universidad de Oklahoma. La simulación incluyó momentos de interés (TOI) en etapas críticas, como la detección y el control de la <i>arremetida</i> . y buena circulación. El rendimiento se evaluó según los patrones de fijación en las áreas de interés (AOI) y los datos se analizaron mediante el <i>software Tobii</i> . para comparar el rendimiento entre novatos y expertos.
Resultados	El estudio reveló diferencias significativas entre los patrones de adquisición de información de participantes experimentados y novatos. Los expertos centraron sus fijaciones en áreas críticas y mantuvieron una mayor conciencia situacional, mientras que los novatos dispersaron sus fijaciones y atención, lo que provocó errores y pérdida de control del pozo. Los resultados sugieren que el seguimiento ocular es una herramienta eficaz para identificar patrones de atención y conciencia situacional en operadores con diferentes niveles de experiencia. Esto demuestra que el entrenamiento basado en simulación, complementado con tecnologías de seguimiento ocular, puede ser útil para identificar puntos débiles en el rendimiento de los operadores principiantes y mejorar su formación.
Contexto real o simulado	Simulado
Limitaciones	La muestra relativamente pequeña de 14 participantes, de los cuales solo dos fueron considerados expertos, limita la generalización de los resultados. Si bien el simulador se ha utilizado ampliamente para la capacitación, aún existe una diferencia significativa entre el entorno de simulación y <i>las condiciones reales de operación en alta mar</i> , lo que podría afectar la aplicabilidad de los resultados en el campo.
Futuros estudios	Validación en Operaciones Reales: Aplicación de la metodología de seguimiento ocular en operaciones reales para validar los resultados en condiciones de campo. Ampliación de la muestra: amplíe la muestra para incluir operadores con distintos niveles de experiencia.

MATRIZ DE SÍNTESIS 4	(Raza y otros, 2019)
Título	<i>Medición de la conciencia situacional en un marco de entrenamiento basado en simulación para operaciones de control de pozos en alta mar</i>
País	EE.UU
Vehículo de publicación	<i>Revista de prevención de pérdidas en las industrias de proceso</i>
Percentil del vehículo de publicación	84%
Objetivo	Evaluar y medir el conocimiento de la situación de los operadores de perforación en alta mar en un entorno de capacitación basado en simulación utilizando técnicas de seguimiento ocular, análisis de voz, cuestionarios y métricas de desempeño.
Método	simulador <i>DrillSim:50</i> , certificado por la IWCF y la IADC, para la capacitación en control de pozos offshore. El equipo contó con 13 ingenieros en prácticas, divididos en parejas (<i>perforador y supervisor</i>). Durante la simulación, los participantes se encargaron de detectar y mitigar <i>las arremetidas</i> , con seguimiento ocular que monitorizaba su atención en las áreas críticas del panel. La simulación se detuvo en tres momentos críticos (<i>puntos de congelación</i>) para recopilar datos sobre el conocimiento de la tarea y la conciencia situacional mediante cuestionarios y análisis de registros de voz. El desempeño se evaluó con una lista de verificación que analizaba la correcta ejecución de procedimientos, como la estabilización de la presión y la circulación del pozo.
Resultados	La conciencia situacional se correlacionó fuertemente con el conocimiento de la tarea y la confianza del supervisor. Los participantes con mayor conocimiento de las tareas de control... <i>Kick</i> tuvo un mejor desempeño. Los supervisores demasiado confiados tendían a cometer más errores, lo que revelaba vulnerabilidad en la toma de decisiones. El uso del seguimiento ocular y el análisis de la comunicación permitió identificar puntos críticos que impactan la conciencia de la situación y el rendimiento.
Contexto real o simulado	Simulado
Limitaciones	El tamaño de la muestra de 13 participantes limita la generalización de los resultados a toda la comunidad de perforación <i>offshore</i> . Si bien el simulador ofrece una buena aproximación a situaciones reales, no captura completamente las complejidades del campo, como el estrés y la fatiga prolongada en operaciones reales.
Futuros estudios	Aumentar el tamaño de la muestra: incluir una muestra más grande y más diversa, lo que permite una mayor generalización de los hallazgos. Validación en escenarios reales: Los estudios futuros deberían buscar aplicar estas metodologías en entornos operativos reales para validar los resultados observados en la simulación.

MATRIZ DE SÍNTESIS 5	(Chen y otros, 2023)
Título	<i>Método de alerta temprana de accidentes por comportamiento inseguro para operadores de perforación offshore basado en la trayectoria de seguimiento ocular</i>
País	Porcelana
Vehículo de publicación	<i>Seguridad de procesos y protección del medio ambiente</i>
Percentil del vehículo de publicación	95%
Objetivo	operadores de perforaciones <i>offshore</i> , utilizando seguimiento ocular y el modelo IETTSM-DLD para predecir accidentes causados por conductas inseguras.
Método	El estudio utilizó el seguimiento ocular de 42 aprendices de perforadores durante simulacros de perforación <i>en alta mar</i> , analizando seis comportamientos de perforación: operación normal, operación no calificada, operación por fatiga, errores de acción, acciones omitidas y orden incorrecto. El algoritmo IETTSM (<i>Trayectoria de Seguimiento Ocular Mejorada</i>) <i>Secuencia Se utilizó el método</i>) para serializar las trayectorias oculares y se utilizó el algoritmo DLD (<i>Distancia Damerau-Levenshtein</i>) para analizar las desviaciones de la trayectoria. El modelo propuesto (IETTSM-DLD) para serializar y comparar trayectorias de fijación ocular con la secuencia estándar, tiene como objetivo generar alertas basadas en desviaciones entre las



	trayectorias reales y esperadas.
Resultados	El modelo logró una precisión promedio del 91,9% para las advertencias de comportamiento inseguro, y el tiempo promedio para alertar fue de 120,97 segundos. Las operaciones como la fatiga y las órdenes incorrectas lograron una precisión del 100% en la emisión de advertencias, mientras que los errores de acción tuvieron una precisión del 61,9%. Las operaciones no calificadas y fatigadas resultaron en el mayor número de alertas de comportamiento anormal, mientras que las operaciones con acciones incorrectas y órdenes incorrectas generaron la menor cantidad de alertas. La trayectoria de los nodos de fijación en operaciones normales fue consistentemente alta, lo que refleja la precisión y la estabilidad de las operaciones normales. El análisis mostró que la agregación de nodos de trayectoria (fijaciones excesivas en ciertas áreas) es un fuerte indicador de operaciones inseguras, como la fatiga y la falta de calificaciones. Los operadores con trayectorias dispersas tuvieron un desempeño deficiente, lo que indica un alto riesgo de errores operativos.
Contexto real o simulado	Simulado
Limitaciones	Este estudio se realizó en un entorno simulado y podría no capturar completamente la complejidad de las operaciones reales <i>en alta mar</i> . El modelo asigna el mismo peso a todos los nodos en la trayectoria del ojo, sin considerar la importancia relativa de cada punto. Esto puede limitar la precisión en la identificación de comportamientos inseguros en algunos casos.
Futuros estudios	Validación en Operaciones Reales: Aplicación en escenarios reales de perforación, donde factores externos como el clima y las condiciones de trabajo pueden influir en el comportamiento del operador de formas diferentes a las del entorno simulado. Mejora del modelo: Ponderación de los nodos de la trayectoria ocular, asignando mayor o menor importancia a diferentes zonas de fijación, lo que puede aumentar la precisión en la detección de comportamientos inseguros.

MATRIZ DE SÍNTESIS 6	(Raza y otros, 2023)
Título	<i>Un marco basado en seguimiento ocular para mejorar la seguridad de las operaciones en alta mar</i>
País	Pakistán
Vehículo de publicación	<i>Revista de investigación del movimiento ocular</i>
Percentil del vehículo de publicación	57%
Objetivo	Proponer una metodología basada en seguimiento ocular para evaluar y mejorar la conciencia situacional de los operadores en operaciones de perforación offshore, comparando el desempeño de expertos y novatos en entornos simulados.
Método	simulaciones de control de pozos <i>offshore</i> utilizando el simulador VRDS. Se utilizó el Tobii TX 300 (300 Hz) para capturar los movimientos oculares. Se designaron tres áreas de interés (AOI): tasa de penetración, flujo de salida y volumen de gas. Se registró la dilatación pupilar para evaluar la respuesta cognitiva de los participantes. Se midió la duración y el conteo de fijaciones en las AOI y se compararon entre el experto y los novatos. También se analizó el diámetro pupilar durante los momentos críticos de la simulación. Se utilizaron pruebas de Kruskal -Wallis para analizar la diferencia entre novatos y expertos en las AOI.
Resultados	El experto demostró una mayor eficiencia al centrar sus fijaciones en las AOI relevantes durante momentos críticos, como la detección <i>patadas</i> , mientras que los principiantes mostraron fijaciones dispersas. La dilatación pupilar de los expertos fue mayor en momentos críticos, lo que indica mayor alerta y mejor percepción de la situación. Las pruebas estadísticas confirmaron diferencias significativas en la duración y el número de fijaciones entre las áreas de interés (AOI), siendo el experto el que mostró una respuesta más eficiente en comparación con los principiantes.

Contexto real o simulado	Simulado
Limitaciones	Muestra pequeña: 1 experto y 23 novatos, lo que limita la generalización de los resultados. Contexto simulado: factor que no capta plenamente las complejidades y presiones del entorno real offshore.
Futuros estudios	Análisis de los niveles de conciencia situacional de cada individuo. Ampliación de la muestra: incluir más expertos para crear una base comparativa más sólida.

Fuente: Elaboración propia con base en Botelho et al. (2011)

En la **etapa 5** se analizaron e interpretaron los estudios seleccionados para identificar similitudes, diferencias y posibilidades para nuevos estudios:

3.1 Características generales de los estudios

Los seis estudios analizados se centraron en el uso de tecnología de seguimiento ocular para evaluar y mejorar la seguridad y el rendimiento en operaciones de perforación de pozos submarinos. Realizados íntegramente en escenarios simulados, emplearon realidad virtual y dispositivos de seguimiento ocular de alta precisión para monitorear la atención, la conciencia situacional (AS) y los patrones de comportamiento. Los simuladores permiten aislar variables críticas, como los movimientos oculares y las decisiones en situaciones anómalas, pero no reproducen completamente las presiones psicológicas y emocionales presentes en operaciones reales, como el alto nivel de estrés y la presión del tiempo.

Respecto a los resultados obtenidos mediante *eye-tracking*, en los estudios de Chen et al. (2024), se utilizaron cinco parámetros oculares críticos para caracterizar conductas de riesgo: número total de puntos de fijación, tiempo total de fijación, longitud total de sacada, tiempo total de sacada y diámetro pupilar medio. La dilatación pupilar, por ejemplo, fue mayor en momentos críticos, lo que indica mayor alerta y mejor conciencia situacional en estos momentos (Raza et al., 2023). Para Chen et al. (2024), las variaciones en el diámetro pupilar pueden servir como indicadores de la fatiga del operador y los niveles de compromiso durante las operaciones de perforación. En operaciones normales, el diámetro pupilar medio indicó un rango típico consistente (19,16 px), mientras que en operaciones con fatiga exhibió un diámetro medio menor (10,04 px), y en operaciones sin experiencia exhibió un diámetro pupilar mayor (22,85 px), lo que refleja altos niveles de concentración. Al comparar a los novatos con los expertos, se observó que los expertos centraban su atención en áreas críticas y mantenían una mayor conciencia situacional, mientras que los novatos dispersaban su atención, lo que provocaba errores y pérdida de control del pozo (Naqvi et al., 2020). La fijación excesiva de la mirada en ciertas áreas indicaba operaciones inseguras, y los operadores con trayectorias de fijación dispersas presentaban un menor rendimiento, lo que indicaba un alto riesgo de errores operativos (Chen et al., 2023).



3.2 Objetivo y metodología

Los estudios analizados apuntaron a un objetivo común: utilizar la tecnología de seguimiento ocular para explorar el comportamiento humano en tareas críticas, con el fin de medir y mejorar la conciencia situacional (SA), la eficiencia y la seguridad en *las operaciones de perforación offshore*. Los métodos empleados demostraron resultados positivos en entornos simulados de entrenamiento de equipos de laboratorio y en contextos de exploración científica (Chen et al. , 2024). Naqvi et al. (2019) destacaron, a través del análisis de contenido, el potencial de la tecnología de seguimiento ocular para interpretar patrones de comunicación en datos hablados y escritos, lo que permite optimizar el entrenamiento y mejorar los factores humanos. La optimización del entrenamiento, según Naqvi et al. (2019), ocurre al ir más allá de la simple evaluación de habilidades técnicas, integrando el análisis de contenido en tiempo real para comprender los procesos cognitivos y los estados mentales de los operadores. Esto permite identificar brechas, brindar *retroalimentación dirigida* y personalizar el aprendizaje para que los novatos puedan adquirir las estrategias y habilidades de información de los expertos de manera más eficiente. Raza et al. (2019) también incluyeron en su estudio un análisis cualitativo de *registros de voz* (el equipo permite la grabación de voz sincrónica) y comportamientos durante la simulación, así como cuestionarios subjetivos de conciencia situacional (SA). Para Krippendorff (2004), el análisis de contenido de estas comunicaciones proporciona *perspectivas psicológicas* basadas en las palabras utilizadas por los participantes, complementando las evaluaciones cuantitativas. Además, Naqvi et al. (2020) centraron sus estudios en métricas objetivas, como las fijaciones oculares en áreas de interés (AOI), para identificar patrones de comportamiento. Este enfoque incluyó la comparación del rendimiento entre profesionales novatos y experimentados, una metodología también empleada por Naqvi et al. (2019) y Raza et al. (2023). En un enfoque centrado en la seguridad, Chen et al. (2023) desarrollaron un sistema basado en aprendizaje automático para predecir comportamientos inseguros, ofreciendo una alerta temprana de accidentes. Raza et al. (2023) combinaron el análisis cualitativo del comportamiento visual y las fijaciones oculares con datos cuantitativos de pupilometría y pruebas estadísticas (Kruskal -Wallis). Dado esto, cabe destacar que la complejidad de la investigación exige respuestas que vayan más allá del sentido cuantitativo de los números y el sentido cualitativo de las palabras, y la combinación de ambos métodos proporciona los análisis más completos para problemas complejos (Creswell y Plano Clark, 2018).

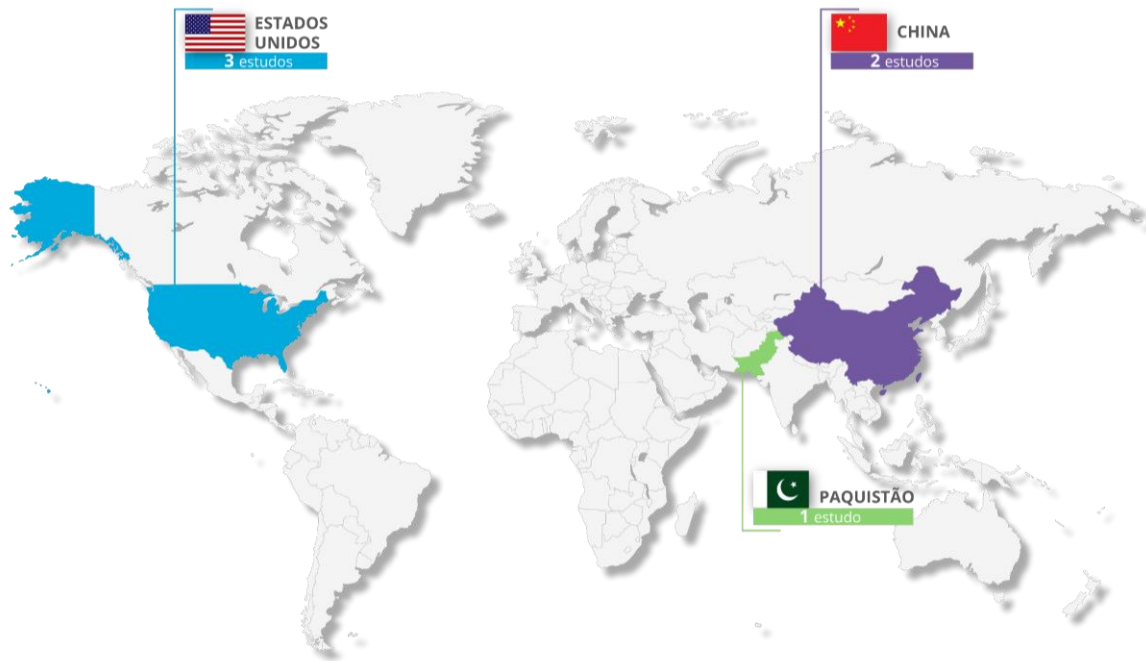
3.3 Características de los participantes

Los participantes del estudio variaron desde novatos, operadores en formación y expertos experimentados, con perfiles que reflejan los objetivos específicos de cada estudio. Los seis estudios utilizaron novatos (estudiantes de pregrado o posgrado, *aprendices*) debido a su facilidad de acceso a entornos simulados, mientras que tres estudios incluyeron operadores experimentados. Los tamaños de muestra variaron, con muestras generalmente pequeñas, con 13 participantes (Raza et al., 2019), 24 individuos (Raza et al., 2023), y la más pequeña, con 4 participantes (Naviq et al., 2019). Por el contrario, estudios como Chen et al. (2023) y Chen et al. (2024) tuvieron un enfoque más amplio, con 42 participantes. Cuatro estudios incluyeron explícitamente la participación de mujeres (Raza et al., 2019; Naviq et al., 2020; Chen et al., 2023; Chen et al., 2024). Guillem y Mograss (2005) sugieren que hombres y mujeres difieren en sus estrategias cognitivas para procesar la información: las mujeres se centran en la elaboración detallada del contenido, mientras que los hombres se guían más por esquemas o temas generales. Los hombres tienden a tener una región lógica más desarrollada, mientras que las mujeres tienden a tener un mayor desarrollo cognitivo; los hombres tienen una mejor percepción del conjunto y son más hábiles en la observación de detalles (De Abreu Agrela Rodrigues, 2022).

3.4 Países

De los seis estudios analizados, tres fueron de investigadores de universidades estadounidenses, dos de China y uno de una universidad de Pakistán (Figura 3). Países como Estados Unidos y China cuentan con sólidas infraestructuras académicas y tecnológicas, así como con una importante presencia global en la industria del petróleo y el gas. No existen estudios de universidades brasileñas sobre este tema, lo que indica una oportunidad de investigación.

Figura 3 - Mapa mundial que destaca los tres países de los seis estudios seleccionados

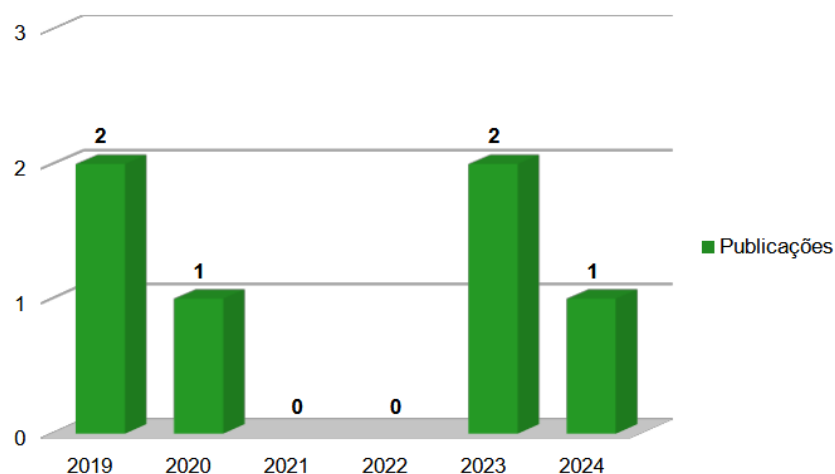


Fuente - Elaborado por los autores (2024)

3.5 Año de publicación

Los estudios, publicados entre 2019 y 2024 (Figura 4), reflejan los avances recientes en la aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en operaciones complejas y destacan el creciente interés en integrar el análisis del comportamiento y las tecnologías de mitigación de riesgos en las operaciones de perforación de pozos submarinos. Publicaciones recientes de relevancia internacional, como *el informe 656* de 2023 y *el informe 656-1* de 2024, destacan los beneficios del uso de la tecnología de seguimiento ocular en entornos de control de pozos (*en alta mar* o offshore). *en tierra*), lo que demuestra la importancia y relevancia del tema (IOGP, 2023; IOGP, 2024).

Figura 4 - Número de publicaciones por año



Fuente - Elaborado por los autores (2024)

3.6 Implicaciones relacionadas con la conciencia situacional, el comportamiento, la toma de decisiones y el desempeño

Según los estudios revisados, el análisis del comportamiento, la evaluación de la conciencia situacional (SA), la toma de decisiones y el desempeño del operador son pilares para mejorar la seguridad y la eficiencia en las operaciones de perforación *offshore*. Estos aspectos están directamente relacionados con la ergonomía cognitiva, un campo especializado de la ergonomía que busca comprender y optimizar las interacciones entre trabajadores y sistemas, considerando factores como el procesamiento de la información, la carga mental, la atención y las capacidades cognitivas. Los procesos cognitivos incluyen la atención, la toma de decisiones, el razonamiento, la memoria, entre otros. El análisis del comportamiento puede identificar comportamientos inseguros y deficiencias en la capacitación (Chen et al., 2023; Naqvi et al., 2019).

En los estudios revisados, se enfatiza la conciencia situacional como un factor crítico en el rendimiento, y en el contexto de la perforación de pozos submarinos, implica una atención enfocada a los detalles y las señales ambientales para la toma de decisiones y el control correcto del pozo (Raza et al., 2019). Endsley et al. (2000) informan que, en términos simples, la conciencia situacional implica saber qué está sucediendo alrededor de uno y puede definirse como un proceso de tres niveles: el primero es la percepción, el segundo es la comprensión y el tercero es la predicción de eventos futuros (altamente relacionado con la toma de decisiones). Los operadores con alta conciencia situacional demuestran una mayor precisión en el reconocimiento de anomalías, mientras que los novatos tienden a dispersar su atención, comprometiendo la eficiencia y la toma de decisiones (Naqvi et al., 2020; Raza et al., 2023).

La toma de decisiones se ve afectada por el conocimiento técnico y la confianza, con estudios que muestran que los operadores demasiado confiados pero poco capacitados a menudo cometen errores críticos (Raza et al., 2019). El desempeño general de los operadores está directamente relacionado con su capacidad para integrar información visual (dominio físico) y cognitiva, lo que destaca la importancia de la capacitación basada en simulación para mejorar las habilidades y mitigar los riesgos operativos. Con respecto a las ubicaciones donde se realizaron los estudios, se utilizaron simuladores en todas. Un estudio mencionó la aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en centros de operaciones remotas en tiempo real, donde profesionales altamente capacitados y experimentados ayudan en el monitoreo de plataformas



desde la costa (Raza et al., 2023). Con el avance del uso de sensores, el seguimiento ocular puede ser una herramienta útil para mejorar la eficiencia y la precisión operativas; por ejemplo, en caso de que el perforador esté cansado y pierda la atención de los monitores, se pueden implementar alarmas de advertencia utilizando el seguimiento ocular en tiempo real para alertarlo (Raza et al., 2023).

Los resultados muestran que la conciencia situacional desempeña un papel fundamental en el desempeño de los operadores (perforadores), ya que se ve directamente influenciada por factores como la capacitación, la experiencia y la carga de trabajo. Estudios como los de Raza et al. (2019, 2023) y Chen et al. (2023) demostraron que los expertos muestran mayor concentración y eficiencia que los novatos, concentrando su atención en áreas críticas y demostrando una mejor capacidad para reconocer anomalías. La aplicación de modelos predictivos basados en aprendizaje automático (Chen et al., 2023; Chen et al., 2024) también refuerza el potencial del seguimiento ocular como herramienta de monitoreo en tiempo real, ayudando a prevenir comportamientos inseguros y a mejorar la toma de decisiones en operaciones de alta complejidad. Estos hallazgos son relevantes para mejorar los programas de capacitación y desarrollar sistemas que integren *retroalimentación* en tiempo real para *operadores offshore*.

En cuanto a la ergonomía (dominios físico y cognitivo), los estudios revisados se consideran investigación original y destacan la relevancia del tema para la comunidad científica. *El seguimiento ocular* no solo mide la capacidad sensorial y el control muscular de los ojos (ergonomía física), sino que, aún más importante, infiere procesos cognitivos. Es fundamental comprender que esta tecnología actúa como puente entre estos dos dominios de la ergonomía. En cuanto al dominio físico, mide objetivamente el comportamiento del movimiento ocular del individuo, registrando datos como la distribución de los puntos de fijación, la trayectoria de la sacada, el tiempo de permanencia en el punto de fijación, así como los cambios en el tamaño de la pupila (diámetro pupilar medio). La calidad y la precisión de los datos recopilados se ven directamente influenciadas por factores físicos del operador y del entorno, como la estabilidad de la cabeza y la necesidad de condiciones de iluminación constantes. En cuanto al dominio cognitivo, los estudios aquí presentados se centran principalmente en la ergonomía cognitiva, investigando cómo la mente del operador (percepción, atención, toma de decisiones, conciencia situacional) interactúa con sistemas complejos, especialmente en situaciones de alto riesgo. *El seguimiento ocular* funciona como una ventana a la mente, permitiendo el análisis de procesos cognitivos y conductuales mediante

la observación de los movimientos oculares (Levantini et al., 2020). Por lo tanto, las mediciones físicas del movimiento ocular sirven como indicadores de estados psicológicos, atencionales y de reconocimiento.

3.7 Resumen de resultados

Finalmente, **en el paso 6**, que resume los pasos anteriores, se destacan los principales resultados. Se enfatiza la relevancia del tema de investigación, así como el desarrollo de la pregunta de investigación y la definición de los criterios de inclusión y exclusión, ya que estos permitieron el mapeo y la síntesis de estudios científicos que integran la tecnología de seguimiento ocular en el contexto de la perforación de pozos submarinos en la industria del petróleo y el gas.

De los seis estudios seleccionados, se observó que todos se realizaron en escenarios simulados y monitorizaron la atención, la conciencia situacional y los patrones de comportamiento. Cabe destacar los cinco parámetros oculares utilizados para identificar conductas de riesgo, como el número de fijaciones y la dilatación pupilar; la pupila se dilata en momentos críticos, lo que indica mayor alerta y conciencia situacional. También se observó que el diámetro pupilar variaba según el nivel de fatiga y la experiencia del operador. Los expertos concentraban la atención en áreas críticas, mientras que los novatos la dispersaban, lo que provocaba errores operativos. Finalmente, las fijaciones excesivas o dispersas se asociaron con operaciones inseguras y un rendimiento inferior.

Los estudios analizados utilizaron el seguimiento ocular para investigar el comportamiento humano en operaciones de perforación *offshore*, centrándose en la conciencia situacional (SA), la eficiencia y la seguridad. Los métodos aplicados incluyeron análisis cualitativos y cuantitativos, combinando seguimiento ocular, registros de voz, cuestionarios subjetivos y pruebas estadísticas. Se emplearon modelos de aprendizaje automático para predecir comportamientos inseguros (Chen et al., 2023). La combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos se consideró esencial para un análisis completo (Creswell y Plano Clark, 2018).

Los participantes abarcaron desde principiantes hasta *aprendices* y expertos con experiencia, con muestras predominantemente pequeñas, de entre 4 y 42 participantes. Cuatro estudios incluyeron mujeres, lo que destaca posibles diferencias cognitivas entre géneros en el procesamiento de la información (De Abreu Agrela Rodrigues, 2022).



En cuanto al origen de los estudios, tres fueron realizados en EE.UU., dos en China y uno en Pakistán, destacando la falta de investigación brasileña en el área, lo que representa una oportunidad para la investigación.

4. CONCLUSIÓN

Los estudios analizados revelan que el seguimiento ocular es una herramienta importante para investigar aspectos relacionados con la evaluación del comportamiento, la conciencia situacional (CE), la toma de decisiones y el rendimiento del operador (sonda), lo que permite identificar patrones de atención visual y comportamiento en situaciones críticas. Por lo tanto, los movimientos oculares pueden revelar información relevante sobre los procesos cognitivos.

El objetivo de comprender cómo se han aplicado estas tecnologías para mejorar la seguridad y la eficiencia se cumplió a través del análisis de estudios recientes ($n=6$), que destacan los avances en el uso del seguimiento ocular en operaciones de perforación de pozos submarinos, como detectar patrones de atención, carga cognitiva y fatiga, optimizar el entrenamiento, prevenir errores y mejorar la seguridad en entornos que requieren altas demandas de concentración.

Sin embargo, sigue siendo necesario ampliar los estudios a escenarios del mundo real para validar los hallazgos realizados en entornos simulados y explorar factores como el estrés, la urgencia y la toma de decisiones, que son difíciles de replicar en simulaciones.

Se recomienda que futuras investigaciones exploren centros remotos de operaciones terrestres, que apoyan la toma de decisiones en actividades offshore, ya que representan ubicaciones estratégicas y prometedoras para la investigación ergonómica. Además de la escasez de estudios enfocados en estos entornos, destaca su facilidad de acceso en comparación con las unidades offshore, ya que no requieren abordaje, capacitación específica en seguridad ni logística compleja, lo que favorece las encuestas sistemáticas y las observaciones de campo. Asimismo, las investigaciones que consideran el impacto de la organización del trabajo y la cultura organizacional pueden brindar información importante sobre los factores humanos en entornos de alto riesgo, ya que ambos pueden influir en cómo los empleados interactúan, toman decisiones y perciben el entorno laboral. Estas iniciativas contribuirán a fortalecer la seguridad, la ergonomía y la eficiencia en las operaciones *offshore*, alineándose con las crecientes demandas de la industria del petróleo y el gas.

REFERENCIAS

- Botelho, L. L. R., Cunha, C. C. A., & Macedo, M. (2011). O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e Sociedade*, 5(11), 121-136.
- Broome, M. E. (2000). Integrative literature reviews for the development of concepts. In B. L. Rodgers & K. A. Knafl (Eds.), *Concept development in nursing: Foundations, techniques and applications* (pp. 231-250). W. B. Saunders Company.
- Canas, J. J., Velichkovsky, B. B., & Velichkovsky, B. M. (2011). Human factors and ergonomics. In J. M. Peiró & L. Tetrick (Eds.), *IAAP Handbook of Applied Psychology* (pp. 316-337). Wiley.
- Chen, C., Hu, J., Zhang, L., Hu, Y., & Li, X. (2023). Early warning method of unsafe behavior accidents for offshore drilling operators based on eye-tracking trajectory. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 1506-1522. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.096>
- Chen, C., Hu, J., Zhang, L., Chen, Y., & Shi, J. (2024). Identification method for safety hazard behavior in offshore drilling operators. *Ocean Engineering*, 301, 117447. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117447>
- Costa, J. J. S. (2024). *Evaluating Python repetition structures with novices: An eye tracking study* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande].
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3ª ed.). SAGE.
- Daniellou, F., Simard, M., & Boissières, I. (2010). *Fatores Humanos e Organizacionais da Segurança Industrial: um estado da arte*. (R. Rocha, F. Lima, & F. Duarte, Trad.; Cadernos da Segurança Industrial, Nº 2013-07). ICSI. Disponível em: https://www.foncsi.org/sites/default/files/Publications/Publication_PO/cahier_FHOS-portugais-derniere-version.pdf
- De Abreu Agrela Rodrigues, D. F. (2022). Qual a diferença entre o cérebro delas e o deles. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3381-3389.
- Endsley, M. R., Bolstad, C. A., Jones, D. G., & Riley, J. M. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement* (Vol. 1, No. 1, pp. 3-21).
- Ferreira, L. L. (2024). Um grande desafio para os ergonomistas: primum non nocere. *Revista Ação Ergonômica*, 18(2), 1-8. <https://doi.org/10.4322/rae.v18n2.e202403>
- Flin, R. H., O'Connor, P., & Crichton, M. (2008). *Safety at the sharp end: A guide to non-technical skills*. Ashgate Publishing.
- Gallina, M., Spers, E. E., de Almeida, L. F., Zalla, S., & de Meneses, J. V. (2022). Atenção visual sobre embalagem com design congruente e a escolha do consumidor: Um experimento com o uso do eye-tracking. *International Journal of Business and Marketing*, 7(2), 86-96. <https://doi.org/10.18568/ijbmkt.7.2.194>
- Ganong, L. H. (1987). Integrative reviews of nursing research. *Research in Nursing & Health*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1002/nur.4770100103>



- Gobbi, A. G., Catecati, T., Díaz Merino, E. A., Schmidt Andrés Díaz Merino, G., & Ferreira, M. G. G. (2017). Uso do eye tracking para medição da satisfação para testes de usabilidade em interfaces web. *Anais do 16º Ergodesign – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano Tecnológica: Produto, Informações Ambientes Construídos e Transporte / 16º USIHC – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano Computador / CINAHPA – Congresso Internacional de Ambientes Hipermedia para Aprendizagem*.
- Guillem, F., & Moglass, M. (2005). Gender differences in memory processing: Evidence from event-related potentials to faces. *Brain and Cognition*, 57(1), 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.026>
- Ida, I., & Guimarães, L. B. M. (2016). *Ergonomia: Projeto e produção* (3ª ed.). Blucher.
- Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. (2024). *Maiores produtores mundiais de petróleo*. <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo>
- Ikuma, L. H., Harvey, C., Taylor, C. F., & Handal, C. (2014). A guide for assessing control room operator performance using speed and accuracy, perceived workload, situation awareness, and eye tracking. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 454–465. 10.1016/j.jlp.2014.11.001
- IOGP. (2023). *Assessment of eye tracking technology in well control operations*. <https://www.iogp.org/bookstore/product/assessment-of-eye-tracking-technology-in-well-control-operations/>
- IOGP. (2024). *Assessment of eye tracking technology in well control operations - onshore*. <https://www.iogp.org/bookstore/product/assessment-of-eye-tracking-technology-in-well-control-operations-onshore/>
- Klopper, R., Lubbe, S., & Rugbeer, H. (2007). The matrix method of literature review. *Alternation*, 14, 262–276.
- Kodappully, M., Srinivasan, B., & Srinivasan, R. (2016). Towards predicting human error: Eye gaze analysis for identification of cognitive steps performed by control room operators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 42, 35–46. 10.1016/j.jlp.2015.07.001
- Konstantinidis, A. (2024). An integrative review of the literature on factors influencing student well-being in the learning environment. *International Journal of Educational Research Open*, 7, 100384. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2024.100384>
- Krippendorff, K. (2004). *Content analysis: An introduction to its methodology* (2ª ed.). Sage Publications.
- Levantini, V., Muratori, P., Inguaggiato, E., Masi, G., Milone, A., Valente, E., Tonacci, A., & Billeci, L. (2020). EYES Are The Window to the Mind: Eye-Tracking Technology as a Novel Approach to Study Clinical Characteristics of ADHD. *Psychiatry Research*, 290, 113135. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113135>
- Li, Q., Ng, K. K. H., Yu, S. C. M., Yiu, C. Y., & Lyu, M. (2023). Recognising situation awareness associated with different workloads using EEG and eye-tracking features in air

- traffic control tasks. *Knowledge-Based Systems*, 260, 110179. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.110179>
- Martinez-Marquez, D., Pingali, S., Panuwatwanich, K., Stewart, R. A., & Mohamed, S. (2021). Application of eye tracking technology in aviation, maritime, and construction industries: A systematic review. *Sensors*, 21(13), 4289. <https://doi.org/10.3390/s21134289>
- Mattos, P. C. (2015). *Tipos de revisão de literatura* [E-book]. Universidade Estadual Paulista. <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-revisao-de-literatura.pdf>
- Mendes, K. S., Silveira, R. C. P., & Galvão, C. M. (2008). Revisão integrativa: Método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto - Enfermagem*, 17(4), 758-764. <https://doi.org/10.1590/s0104-07072008000400018>
- Merino, G., Barros, R. S., Martínez Riascos, C. E., & Díaz Merino, E. A. (2020). Eye tracking na ergonomia: Discussão a partir de uma análise multicase. In *Anais do XX Congresso Brasileiro de Ergonomia - Virtual 2020*. ABERGO. <https://doi.org/10.29327/127430.1-11>
- Naqvi, S. A. M., Raza, M., Ybarra, V. T., Salehi, S., & Teodoriu, C. (2019). Using content analysis through simulation-based training for offshore drilling operations: Implications for process safety. *Process Safety and Environmental Protection*, 121, 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.016>
- Naqvi, S. A. M., Raza, M., Ghazal, S., Salehi, S., Kang, Z., & Teodoriu, C. (2020). Simulation-based training to enhance process safety in offshore energy operations: Process tracing through eye-tracking. *Process Safety and Environmental Protection*, 138, 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.016>
- Paulo, I. I., Parachen, G., Silva, S. M., & Merino, E. A. D. (2023). A atuação de equipes interdisciplinares em tempos de pandemia: Revisão integrativa da literatura. *Temática*, 19(2), 216–230. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1807-8931.2023v19n2.65747>
- Raza, M. A., Salehi, S., Ghazal, S., Ybarra, V. T., Naqvi, S. A. M., Cokely, E. T., & Teodoriu, C. (2019). Situational awareness measurement in a simulation-based training framework for offshore well control operations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103921. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103921>
- Raza, M., Kiran, R., Ghazal, S., Jeon, J., Salehi, S., Kang, Z., & Cokely, E. (2023). An eye tracking-based framework for safety improvement of offshore operations. *Journal of Eye Movement Research*, 16(3). <https://doi.org/10.16910/jemr.16.3.2>
- Silva, K. L. B. M., Campos, L. F. de A., & Fernandes, F. R. (2021). Ergonomia Cognitiva e a interação com os objetos. *Human Factors in Design*, 10(19). <https://doi.org/10.5965/2316796310192021029>
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356-367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Torres, Á. C. (2021). *Factores humanos y ergonomía cognitiva*. Editorial Universidad de Granada.
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>

Silva N., Merino E., Paulo I.

Recibido: 13/06/2025

Aprobado: 24/06/2025

Editora ejecutiva: Manoela Lopes

