


	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 03 de Febrero de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN





UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos:

DIEGO ARMANDO PADILLA GUZMÁN, con C.C. No. 1.075.263.100 de Neiva, JOSÉ IGNACIO MARROQUÍN SÁNCHEZ, con C.C. No. 1.075.213.221 de Neiva, autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES USADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de INGENIERO DE PETRÓLEOS; autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

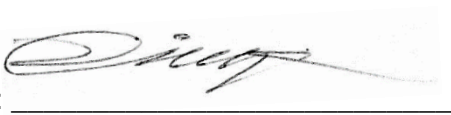
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES USADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
PADILLA GUZMÁN	DIEGO ARMANDO
MARROQUÍN SÁNCHEZ	JOSÉ IGNACIO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MANTILLA RAMÍREZ	LUIS ENRIQUE

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
BONILLA CAMACHO	LUIS FERNANDO RAMÓN
GUZMÁN MANRIQUE	ORLANDO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO DE PETRÓLEOS





FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: PETRÓLEOS

CIUDAD: **AÑO DE PRESENTACIÓN:** **NÚMERO DE PÁGINAS:**

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías ___ Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general ___ Grabados ___ Láminas ___
 Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones Tablas o Cuadros

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				 ISO 9001 SC 7384-1	 GP 205-1	 CERTIFIED iNet MANAGEMENT SYSTEM CO-SC 7384-1
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

MATERIAL ANEXO: No

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): No





PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español	Inglés
1. <u>RED NEURONAL ARTIFICIAL</u>	<u>ARTIFICIAL NEURONAL NETWORK</u>
2. <u>MINERÍA DE DATOS</u>	<u>DATA MINING</u>
3. <u>CAMPO PETROLERO DIGITAL</u>	<u>DIGITAL OIL FIELD</u>
4. <u>EXPLORACION Y PRODUCCION</u>	<u>E&P</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente documento contiene el estado del arte relacionada con las aplicaciones, resultados y tendencias de las tecnologías AIPA en la industria petrolera, para ello se realizó la consulta de material bibliográfico referente al tema; a partir de allí se clasifica según su cronología en cuanto a su presentación y aplicación en el mercado, además de esto, estará acompañado de su área de aplicación en la industria (perforación, producción, tratamiento, transporte, yacimientos, etc.). Si bien es seguro que hay una gran variedad de aplicaciones de estas tecnologías en las áreas del sector petrolero, se ha hará énfasis en las que mayor impacto han tenido y que además se tienen registros o estudios ellas al respecto.

Sumado a ello abarca el análisis que se le aplicó a una encuesta llevada a cabo por la SPE a un amplio grupo de profesionales y académicos vinculados a diversas operaciones de exploración, producción y empresas de servicios. Aquella encuesta captó el nivel de conocimiento de la AIPA en la industria y sus áreas de aplicaciones más comunes. Además a ello, en la Universidad Surcolombiana se llevó a cabo un sondeo similar a estudiantes e ingenieros docentes del programa de Ingeniería de Petróleos, para así realizar un análisis comparativo sobre la situación local y global en cuanto al conocimiento y usos de estas tecnologías que día a día están y estarán aún más presentes en los procesos de la industria no solo petrolera sino de todas en general.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This document contains the state of art related to the applications, results and AIPA technological trends in the petroleum industry, for that purpose, a research was done by consulting bibliographic material about it; from there it was classified according to the chronology related to its presentation and application in the industry, also, it will be accompanied by their area of application in the industry (drilling, production processing, transportation, oilfields). While it's certain that there are variety of applications of these technologies in the areas of the oil sector, the emphasis will be done in the ones which greater impact had have and also the ones with records or studies about them.

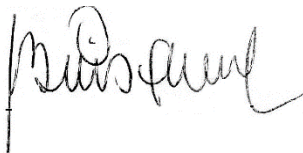
In addition to this, it covers the analysis applied to a survey conducted by the SPE to a large group of professionals and academics, linked to exploration operations, production and service companies. That survey captured the level of knowledge of the AIPA in the industry and its areas of common applications. Beside this, in the Surcolombiana University was carried out a similar survey to students and engineers teachers of the petroleum engineering program, in order to make a comparative analysis about the local and global situation in terms of knowledge and use of these technologies which every day are and will be even more present in the process of not only the petroleum industry but all in general.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: LUIS ENRIQUE MANTILLA RAMÍREZ

Firma: 

Nombre Jurado: LUIS FERNANDO RAMÓN BONILLA CAMACHO

Firma: 

Nombre Jurado: ORLANDO GUZMÁN MANRIQUE

Firma: 

**ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES USADOS EN LA INDUSTRIA
PETROLERA**

Trabajo de grado presentado para obtener el Título de Ingeniero de Petróleos de La Universidad
Surcolombiana, Neiva

**Diego Armando Padilla Guzmán
José Ignacio Marroquín Sánchez**

Febrero, 2016

Dedicatoria

José Ignacio Marroquín Sánchez

A Dios por estar siempre presente en todos los momentos buenos y difíciles de mi vida, iluminándome el camino, con su protección y bendición me ayudo a serle frente a todos los problemas durante mis estudios.

A mis padres María Enid Sánchez Pérez y José Ignacio Marroquín Velásquez, por infundir en mi la lucha y el deseo de superación, no hay un día en el que no agradezca a Dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron.

A todas las personas que siempre creyeron en mí y que de una u otra forma me apoyaron para poder hacer realidad el sueño de culminar esta etapa en mi vida.

“...Obtener un título profesional toma algunos años de estudio, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona...”

Diego Armando Padilla Guzmán

A Dios, por demostrarme siempre que con su bendición el éxito no ha de faltar.

A mi familia, principalmente a mis amados abuelos Marcelo Padilla González (Q.E.P.D) y Rosa Elvira Guzmán, sin su amor y apoyo incondicional no hubiese sido posible alcanzar este logro.

A mis maestros, en especial a José Vicente Buendía Vargas, su invaluable apoyo y acompañamiento durante este ciclo fue fundamental.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

El director del trabajo de grado, el Ingeniero Luis Enrique Mantilla, quien con sus conocimientos y experiencia nos guio y acompaño durante todo el proceso investigativo.

A los Ingenieros Luis Fernando Ramón Bonilla Camacho y Orlando Guzmán Manrique, por sus conocimientos aplicados en las sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo.

A todos y cada de los Ingenieros Docentes del Programa de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana, que con su esfuerzo y dedicación nos formaron de manera íntegra, siendo componentes fundamentales en la realización de nuestra meta de obtención del título profesional.

Objetivos

General

Elaborar un documento detallado de la aplicación de tecnologías de Inteligencia Artificial y Análisis Predictivo en la industria petrolera a nivel mundial y de la determinación del nivel de conocimiento de estas, a nivel local.

Específicos

Elaborar un resumen y un listado cronológico de los sistemas inteligentes más importantes usados en la industria del petróleo en el mundo.

Clasificar por procesos el uso de los sistemas inteligentes y sus resultados más significativos.

Plasmar los resultados más notables en la industria petrolera alcanzados por los sistemas inteligentes de mayor eficiencia en el mundo.

Realizar una clasificación final detallada de cada sistema inteligente seleccionado para cada área específica.

Diseñar y aplicar una encuesta a docentes y estudiantes activos y/o egresados del programa de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana, y analizar los resultados.

Comparar el conocimiento de los docentes y estudiantes sobre las tecnologías AIPA de la Universidad Surcolombiana con el percibido a nivel global.

Lista de Abreviaturas

ACL: Lenguaje Común de Agentes.

AI: Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)

AIPA: Artificial Intelligence and Predictive Analysis (Inteligencia Artificial y Análisis Predictivo)

ANN: Artificial Neuronal Network (Red Neuronal Artificial)

CWLS: Canadian Well Log Society (Sociedad Canadiense de Registros de Pozos)

DOF: Digital Oil Field (Campos Petrolíferos Digitales)

E&P: Exploration and Production (Exploración y Producción)

FIPA: Foundation for Intelligent Physical Agents (Fundación para Agentes Físicos Inteligentes)

GE: General Electric

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

IFAC: Federación Internacional de Contadores

LAS: Log Ascii Standard

PC: Personal Computer (Computadora Personal)

SEG: Society of Exploration Geophysicists (Sociedad de Geofísicos de Exploración)

SPE: Society of Petroleum Engineers (Sociedad de Ingenieros de Petróleos)

TI: Tecnologías de Información

Resumen

El presente documento contiene el estado del arte y las tendencias de las tecnologías AIPA dentro de la industria petrolera, sumado a ello abarca el análisis de una encuesta llevada a cabo por la SPE a un amplio grupo de profesionales y académicos vinculados a diversas operaciones de exploración, producción y empresas de servicios. Aquella encuesta captó el nivel de conocimiento de la AIPA en la industria y sus áreas de aplicaciones más comunes, y las expectativas de los usuarios a las soluciones basadas en ella. Además a ello, en la Universidad Surcolombiana se llevó a cabo un sondeo similar a estudiantes e ingenieros docentes del programa de Ingeniería de Petróleos, para así realizar un análisis comparativo sobre la situación local y global en cuanto al conocimiento y usos de estas tecnologías que día a día están y estarán aún más presentes en los procesos de la industria no solo petrolera sino de todas en general. Del mismo modo incluye una revisión bibliográfica de documentos técnicos relacionados con las aplicaciones y resultados de la AIPA.

Con la encuesta global se pudo verificar que (a) la minería de datos y las redes neuronales son, por mucho, las tecnologías de AIPA más populares utilizados en la industria; (b) aproximadamente el 50% de los encuestados declaró que estaban familiarizados de alguna manera en la aplicación de la automatización del flujo de trabajo, control automático de procesos, razonamiento basado en reglas de casos, la minería de datos, modelos proxy y entornos virtuales; (c) la producción es la zona más impactada por las aplicaciones de las tecnologías de AIPA y (d) el nivel de percepción de la literatura disponible y el conocimiento público de las tecnologías de la AIPA es generalmente bajo, a pesar de ello no se percibe por igual entre los diferentes roles, títulos o cargos.

Conjuntamente se evidenció la importancia de determinar el nivel de conocimiento de los ingenieros docentes de las áreas que hacen parte del Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana y compararla con la percepción global y así analizar la situación ante estas importantes tecnologías, al igual se pretende determinar el conocimiento por parte de sus estudiantes activos y/o egresados, con ello se

podrá concluir si se debe plantear o no un programa o una iniciativa para mejorar y complementar ésta área del conocimiento que seguramente aplicarán más adelante los futuros graduandos.

Igualmente pretende ser una guía para el personal responsable de la producción y de la gestión de activos en cuanto a cómo las aplicaciones basadas en AIPA pueden agregar mayor valor y mejorar su toma de decisiones. Los resultados de la encuesta revelan qué herramientas considerar para cada desafío en particular. También ilustra cómo las técnicas AIPA jugarán un papel importante en el futuro desarrollo de soluciones de TI en la industria de E & P.

Para ello se realizó la consulta de material bibliográfico referente al tema. A partir de allí se clasifica según su cronología en cuanto a su presentación y aplicación en el mercado, además de esto, estará acompañado de su área de aplicación en la industria (perforación, producción, yacimientos, etc.), lo cual es muy importante a la hora de contemplar la opción de aplicar alguna de ellas, lo anterior será posible porque se hará énfasis de igual manera en los resultados que se presentaron en la ejecución de ellos en algún proceso en particular.

La información puede ser revisada en el control de trabajo que se hizo durante el desarrollo del presente documento (Apéndice D), así como en la correspondiente lista de referencias.

Contenido

Capítulo 1 Introducción e Información General	1
I. La inteligencia computacional.....	2
I.A Redes Neuronales Artificiales.....	3
I.B Lógica Difusa.....	3
I.C Computación Evolutiva.....	4
I.C.I Algoritmos Genéticos.....	4
I.C.II Máquina de Aprendizaje.....	4
I.C.III Agentes Inteligentes.....	5
I.C.IV Inteligencia de Enjambre.....	5
II. Minería de Datos.....	6
III. Razonamiento Basado en Reglas.....	6
III.A Redes Bayesianas.....	6
III.B Sistemas Expertos.....	6
IV. Control de Procesos Automáticos.....	7
V. Automatización de Flujos de Trabajo.....	8
VI. Modelos Proxy.....	8
VI.A Modelos De Yacimientos Sustitutos.....	8
VI.B Modelos Top Down.....	8
VII. Entornos Virtuales.....	8
Capítulo 2 Resultados y discusión	10
A. Profesionales Activos en la Industria en el Mundo.....	10
<i>La Gestión de la Información y Los Retos del Análisis de los Activos del Petróleo</i>	10
<i>¿Qué importancia tienen estos desafíos?</i>	10
<i>El conocimiento de la Inteligencia Artificial y de sus aplicaciones en la industria del</i> <i>Petróleo</i>	11
<i>Nivel de conocimiento de La Inteligencia Artificial y del Análisis Predictivo</i>	12
<i>¿Correlación con el nivel profesional e información disponible?</i>	13
<i>Las aplicaciones AIPA más comunes y las soluciones a la empresa o área de trabajo</i>	14
<i>¿Cuál es la percepción del nivel de madurez de cada tecnología?</i>	14
B. Universidad Surcolombiana.....	17
<i>Estudiantes</i>	17
<i>Ingenieros Docentes</i>	20
Capítulo 3 Registro de Resultados de Aplicaciones de Tecnologías AIPA	24
Inicios.....	24
Exploración y Perforación.....	25
Facilidades de Producción.....	26
Levantamiento Artificial.....	26
Petrofísica.....	27
Transporte.....	27
EOR/IOR.....	28
Yacimientos.....	29
Comercial/Administrativo.....	31

Conclusiones	33
Recomendaciones	34
Lista de referencias	35
Apéndice A: Preguntas a los profesionales en la encuesta global	37
Apéndice B: Información Demográfica de la Encuesta Global	40
Apéndice C: Encuestas Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana	42
Apéndice D: Formato del Control de trabajo.....	45

Lista de figuras

Figura 1. ¿Cuáles son los retos de la administración y análisis de datos?	10
Figura 2. ¿Qué tan grandes son los retos que tienen en común la administración y el análisis de datos?..	11
Figura 3. Aplicaciones conocidas de la AIPA en la industria petrolera	12
Figura 4. Nivel de conocimiento de tecnologías de AIPA	12
Figura 5. Nivel de uso de acuerdo al rol/cargo.....	13
Figura 6. Tecnologías AIPA usadas por los encuestados.	14
Figura 7. Nivel de madures percibido	15
Figura 8. Áreas impactadas por Data Mining.....	15
Figura 9. Conocimiento de las AIPA por parte de los Ingenieros docentes.....	17
Figura 10. De las siguientes tecnologías. ¿Cuál le es familiar a los estudiantes?	18
Figura 11. Área de interés de la Ingeniería de Petróleos por parte de los estudiantes.	18
Figura 12. Deficiencias/Problemas de mayor impacto negativo percibidas por los estudiantes.	19
Figura 13. ¿Le gustaría conocer aún más acerca de AIPA?	20
Figura 14. Conocimiento de tecnologías de AIPA por parte de los Ingenieros Docentes.....	21
Figura 15. Tecnologías conocidas o usas alguna vez por parte de los Ingenieros Docentes.	21
Figura 16. Área de la Ingeniería de Petróleos orientada en el programa por los Ingenieros Docentes.	22
Figura 17. Retos a superar según el área que orienta.	22
Figura 18. Aspectos más importantes a potenciar en los estudiantes.	23

Capítulo 1 Introducción e Información General

En términos generales, la AIPA es la capacidad de las máquinas (por lo general en forma de hardware y software) para imitar o superar la inteligencia humana en la ingeniería de todos los días y tareas científicas asociadas a la percepción, el razonamiento y la actuación. La inteligencia humana es multifacética, la AIPA también lo es, comprende objetivos que van desde la representación del conocimiento, al aprendizaje, a la percepción visual y la comprensión del lenguaje (Winston 1992). Las técnicas de AI han estado presentes en la industria de E & P durante muchos años. Una rápida búsqueda en la literatura revela la aplicación de la AIPA en trabajos científicos de la SPE y de ingeniería ya en la década de 1970. Hay numerosas referencias sobre las aplicaciones de las redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, sistemas expertos, y otras técnicas artificiales en la solución de problemas en diversas áreas, como la simulación de yacimientos, optimización de la producción, control de procesos, y la detección de fallas y diagnóstico, entre muchas otras.

AIPA es un área de gran interés en la industria de exploración y producción, principalmente en aplicaciones relacionadas con el control de la producción y la optimización, simulaciones de modelos proxy, y la detección virtual. Las técnicas más populares son las redes neuronales artificiales, lógica difusa y algoritmos genéticos, con desarrollos interesantes en híbridos y técnicas no tradicionales. Ha habido un reciente aumento de este tipo de aplicaciones comerciales basadas en AIPA para el manejo de la producción.

Recientemente, el término "inteligencia artificial y análisis predictivo" (AIPA) se ha utilizado para integrar técnicas de AI en un conjunto más amplio de técnicas destinadas a procesamiento y análisis de datos, automatización de procesos y la visualización avanzada. Además de las técnicas clásicas de AI, AIPA incluye la minería de datos, control automático de procesos, automatización del flujo de trabajo, entornos virtuales, entre otros.

Con la implementación de programas de campos petroleros digitales (DOF) en varias empresas de petróleo y gas, la aplicación de las tecnologías de AIPA parece ir en aumento. La aplicación de técnicas heurísticas en el procesamiento y análisis de datos, modelado físico, los procesos de predicción y optimización, se hace a menudo en las implementaciones de DOF. Es ampliamente aceptado que la gestión de datos es un desafío frecuente en la industria petrolera.

Para hacer este estudio, se analizarán los resultados de una encuesta que se desarrolló y llevó a cabo por la SPE. Ya con esto, la correspondiente comparación estadística con otra aplicada a ingenieros docentes y estudiantes activos y egresados de la Universidad Surcolombiana se llevó a cabo y posterior a ello se plasmó en el actual

documento. La encuesta tuvo como objetivo capturar el nivel de conocimiento AIPA en la industria, incluyendo las áreas más comunes de aplicación, las técnicas más populares, y las expectativas de los usuarios de las soluciones basadas en AIPA.

El desarrollo y el mejoramiento de técnicas en la industria petrolera, vienen de la mano con la gran magnitud de datos a analizar para la posterior toma de decisiones, debido a que con el uso de sensores programados modernos, es fácil encontrar registros de millones de datos en un solo día, ya sean de presión, temperatura, volumen, etc., por esta gran cantidad de información, ya no es sencillo el procesamiento de ella con programas típicos conocidos y se hace necesario el empleo de nuevos sistemas computarizados, que además de ser automatizados sean inteligentes, es decir, que sean aptos para tomar decisiones en tiempo real y a través de la experiencia adquirida y procese nueva información.

A lo anterior, se suma la lejanía de las locaciones con respecto a los sitios o puntos de procesamiento, donde se analiza e interpreta dicha información como registros y/o pruebas en general, dicha distancia significa un tiempo muerto en el envío y recepción de dicha información disminuyendo la eficiencia de las operaciones. Los sistemas inteligentes aparecen como una respuesta al aumentar esta eficiencia, que no solo representa una reducción de costos, sino que ayuda a implementar un mejor procesamiento de la información para la toma más efectiva de decisiones.

Es por ello que es necesario tener al alcance un documento que pueda guiar a los operadores sobre las ventajas y los alcances ofrecidos por los sistemas inteligentes y así optar por el que más se ajuste a sus condiciones y necesidades que tengan según el caso correspondiente a su área en el que se realice el proceso.

A continuación, se presenta un listado de las tecnologías AIPA que se mencionaran en el escrito de manera frecuente con sus respectivas definiciones. Las tecnologías AIPA se han agrupado en siete (7) familias.

I. La inteligencia computacional.

Se centra en los problemas que teóricamente sólo los seres humanos y los animales pueden resolver, problemas que requieren inteligencia. Es una rama de la ciencia de la computación que estudia los problemas para los que no existen algoritmos computacionales eficaces. El término actúa como un paraguas bajo el cual se han añadido más y más métodos con el tiempo.

1.A Redes Neuronales Artificiales

Esta es una de las técnicas de AIPA más utilizadas con muchas revistas y libros dedicados a su estudio y numerosas conferencias relacionadas. Hay varias herramientas de software de red neural artificial para el desarrollo de aplicaciones, y algunos de ellos están diseñados para uso industrial. Un set de herramientas de Matlab también está disponible. El uso principal de una red neuronal es como herramienta multipropósito (de ahí su popularidad) que emplea funciones no lineales aproximadas para las tareas de modelamiento y de clasificación.

El desarrollo de una red neuronal por lo general requiere de grandes cantidades de datos para asegurar la cobertura de un área lo suficientemente grande para su estructuración y aplicación. También hay que mencionar que una característica fundamental de las redes neuronales es su capacidad para ser entrenada y así realizar cálculos utilizando computación paralela, casi nunca se capitalizó esto en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería, que realizan cálculos en las máquinas de serie estándar (por ejemplo, PC). Las aplicaciones de redes neuronales han estado enfocadas en el reconocimiento de patrones, los sensores virtuales, control de proceso, la predicción y el modelado, entre otros.

Una crítica de las redes neuronales es que son "cajas negras" (es decir, es difícil determinar exactamente por qué una red neuronal produce un resultado determinado). Ciertas aplicaciones de redes neuronales han producido resultados muy valiosos dentro de ciertos rangos, pero han dejado de trabajar y dar buenos resultados sin explicación. Los gerentes y administrativos perciben lo anterior como un impacto negativo a la gestión y al potencial de la AIPA en la industria.

1.B Lógica Difusa.

Esta es una técnica para la representación de argumentos lingüísticos inexactos y hacer inferencias basadas en ellos. Acercándose a 50 años desde su creación, es quizá la técnica más utilizada en las actividades diarias. Refrigeradores, lavadoras, y los sistemas de suspensión de automóviles son algunas de sus aplicaciones. Esta técnica tiene también muchas revistas y libros dedicados a su estudio y muchas conferencias relacionadas. Hay paquetes de software para el desarrollo de aplicaciones que emplean la lógica difusa, y algunos de ellos están diseñados para uso industrial. Herramientas MATLAB también están disponibles. Las principales aplicaciones han estado en el reconocimiento de patrones, los sensores virtuales, control automático, la predicción y el modelado, entre otros.

1.C Computación Evolutiva.

Es el nombre colectivo para una serie de técnicas de resolución de problemas basados en los principios de la evolución biológica, como la selección natural y la herencia genética. Estas técnicas están siendo cada vez más aplicadas a una variedad de problemas, que van desde aplicaciones prácticas en la industria, el comercio y a la investigación científica de vanguardia.

Las redes neuronales, algoritmos genéticos y agentes inteligentes a menudo se clasifican como técnicas de aprendizaje automático. Los agentes pueden utilizar matrices de co-ocurrencia para aprender cómo se relacionan los atributos dentro de los conjuntos de datos. Los agentes de memorias pueden ser utilizados de diversas maneras para el diagnóstico y el reconocimiento de patrones de datos en señal multicanal y para el control del flujo de trabajo. A diferencia de las redes neuronales, las memorias asociativas son "cajas blancas", que se pueden configurar para explicar sus decisiones.

1.C.I Algoritmos Genéticos

Se compone de una clase de técnicas de optimización que imitan inteligentemente el proceso de evolución (de ahí el término genético) en un ordenador para permitir que una población inicial de posibles soluciones converjan a soluciones óptimas. Si bien la convergencia puede ser lenta, no existen requisitos sobre la estructura (por ejemplo, la continuidad, diferenciabilidad, convexidad, etc.) del problema de optimización que hay que resolver. Hay algunas revistas dedicadas al estudio exclusivo de algoritmos genéticos y algunas conferencias relacionadas, al igual que ciertos paquetes de software para el desarrollo de aplicaciones que emplean algoritmos genéticos y algunos de ellos están diseñados para uso industrial. Un menú de herramientas MATLAB también está disponible. Las principales aplicaciones de los algoritmos genéticos han sido en actividades de optimización y de búsqueda, entre otros.

1.C.II Máquina de Aprendizaje

Se refiere a algoritmos que permiten a los ordenadores aprender comportamientos generalizados a partir de datos, a menudo a través del refuerzo, pero sin supervisión. Se superpone parcialmente con la minería de datos, pero se diferencia de ella en que esta última se centra en el patrón de descubrimiento, mientras que el primero se refiere principalmente a la producción de patrones deseables. No hay muchos libros, revistas o conferencias puramente dedicados a este tema. Sin embargo, hay literatura sobre aprendizaje automático en muchas disciplinas.

I.C.III Agentes Inteligentes

Son sistemas computacionales que comprenden múltiples agentes capaces de tomar decisiones y acciones de manera. Los agentes mantienen información sobre su entorno y toman decisiones basados en su percepción sobre el estado de este entorno, sus experiencias pasadas y sus objetivos. Los agentes también pueden comunicarse con otros agentes y colaborar para alcanzar objetivos comunes. Los agentes inteligentes son ideales para sistemas que involucran grandes cantidades de datos en entornos distribuidos físicamente.

Si bien es posible construir agentes inteligentes que actúan de forma autónoma, sistemas de agentes más inteligentes están diseñados para apoyar en lugar de reemplazar a los usuarios. Los sistemas de agentes inteligentes son especialmente eficaces cuando hay una gran cantidad de datos, se requiere un alto grado de especialización o los plazos de respuesta son muy cortos.

Hay una serie de grupos de investigación en la comunidad científica que trabaja en agentes inteligentes y hay normas y aplicaciones para el desarrollo de sistemas multiagente. Las normas más importantes para los sistemas multiagente, como ACL y los protocolos de interacción son apoyadas por la FIPA, suscrito al IEEE. Además, hay importantes revistas científicas especializadas en sistemas inteligentes.

Hay varias referencias sobre el uso de sistemas multiagente en el mundo industrial, principalmente en la industria manufacturera (automatización plantas basado en sistemas distribuidos PABADIS, 2005) (Marik y Vrba, 2005). Las aplicaciones más comunes se distribuyen en los sistemas de toma de decisiones y los sistemas de control distribuido. En la industria de E & P, hay pocas referencias sobre aplicaciones de los sistemas multiagente; tres ejemplos son el sistema de gestión de la información basado en agentes para el envío de petróleo y los flujos de trabajo para las ventas (Ølmheim et al., 2008), la aplicación de sistemas multiagente en el modelamiento de las instalaciones submarinas y el uso de agentes de empalme en la simulación de la historia de yacimientos (Zangl et al. 2011). Sin embargo, la aplicación de agentes inteligentes en la industria se está llevando a cabo activamente.

I.C.IV Inteligencia de Enjambre

Es una técnica basada en torno al estudio de la conducta colectiva en sistemas descentralizados, auto-organizados. Aunque normalmente no hay estructura de control centralizado que dicta cómo deben comportarse los individuos, las interacciones locales entre aquellos individuos conducen a la aparición de un comportamiento global. No muchas aplicaciones se han visto hasta ahora en la industria, aunque hay un enorme potencial. Algunos artículos se han publicado en el área de acople histórico en la simulación de modelos (Hajizadeh, 2010).

II. Minería de Datos

Por sí misma no es una técnica de AI; sino que utiliza técnicas de AI junto con estadísticas y otras técnicas formales para encontrar características interesantes de un conjunto de datos. Hoy en día está bien consolidada y documentada con revistas dedicadas a su estudio y algunas conferencias sobre ella. Hay softwares para el desarrollo de aplicaciones, algunas de ellas diseñadas por las universidades, y hay herramientas de MATLAB disponibles. Las principales aplicaciones han sido en la predicción, clasificación y segmentación, entre otros.

III. Razonamiento Basado en Reglas

No es una técnica de AI distinta, ya que no emula diferentes actividades inteligentes de los utilizados por las otras técnicas. Se puede implementar utilizando sistemas expertos o sistemas de lógica difusa con una meta en particular en caso de razonamiento (si, entonces) y se basa en los problemas similares del pasado. Por ejemplo, en este caso se utiliza a menudo en entornos de servicios de asistencia para apoyar al diagnóstico de problemas con los productos de consumo. Hay muy pocas revistas, conferencias o libros relacionados exclusivamente a esta área, pero es un tema muy común en los eventos más generales de AI. De la misma manera, la aplicación podría hacerse utilizando software para otras técnicas, por lo que no hay muchas herramientas específicas. Esta técnica puede ser ampliamente utilizada en diversos tipos de aplicaciones, incluyendo proceso, detección industrial, aislamiento de fallas, la predicción y cualquier otra área en la que hay un conocimiento disponible sobre las maneras apropiadas utilizadas anteriormente para la solución de problemas relacionados con ello.

III.A Redes Bayesianas

Son modelos informáticos de sistemas probabilísticos, operan en condiciones de incertidumbre. Han sido aplicadas con éxito en la industria en muchas áreas diferentes. Se utilizan en el diagnóstico en el control de procesos, implementados en sistemas expertos para apoyo a la decisión probabilística, y se utilizan para la optimización. Herramientas de software independientes están disponibles. Sin embargo, la mayoría de las implementaciones se realizan en los proyectos de desarrollo personalizado.

III.B Sistemas Expertos

Son la técnica de inteligencia artificial más antiguo de acuerdo con el desarrollo de aplicaciones. A menudo, se basan en reglas. En esencia, es un paradigma de programación, centrándose en la declarativa en lugar de los problemas de programación de procedimiento, es decir, cómo se representa el conocimiento y la estructura en lugar de como se llevan a cabo cálculos elaborados. Fue la técnica de AI más utilizado durante los años 1970 y 1980, que

abarca muchas áreas de aplicaciones. En la industria del petróleo y el gas, la gestión de las operaciones de perforación era el objetivo principal de la actividad de AI en ese momento. El intenso interés en ese momento fue seguido por un rápido declive, los marcos metodológicos fueron muy restringidos, el interés en sistemas expertos desaparecen durante los 90. Por supuesto, como una herramienta para adquirir y representar el conocimiento manejado por un experto humano, un sistema experto puede ser muy útil en una amplia gama de aplicaciones. Hoy en día es una zona muy bien consolidada con revistas dedicadas a su estudio (incluyendo las publicaciones de Elsevier y Wiley) y numerosas conferencias dedicadas a esa área. Hay muchos paquetes de software de sistema experto para el desarrollo de aplicaciones, y algunos de ellos están diseñados específicamente para su uso industrial. Los sistemas expertos han tenido diversas aplicaciones en la salud, la industria, las finanzas, la seguridad y detección de fallos y diagnósticos, entre otras áreas.

Los nuevos jugadores del mercado, como GE, están penetrando en la industria de E & P. Ellos traerán una importante experiencia en el uso de sistemas expertos en el monitoreo continuo y la gestión de equipos rotativos. La procedencia de los motores de aeronaves y locomotoras. Es interesante que el análisis predictivo de GE se basa en el uso de parámetros y no en la condición.

IV. Control de Procesos Automáticos

Es la zona más estudiada de toda la lista, con décadas de experiencia y mejoras. Estrictamente hablando, no es una técnica de AI, pero puede utilizarla en algunos esquemas. Hay teoría bien desarrollada del control automático, con diversas variedades haciendo especial hincapié en varios aspectos de interés, incluyendo el clásico, sólido y adaptable modelo predictivo e inteligente, entre otros. Hay muchas asociaciones de todo el mundo, incluyendo el IEEE y la IFAC, tienen capítulos enteros dedicados al control automático. Hay numerosas revistas y libros sobre el tema y una variedad de conferencias sobre esta materia. También hay abundantes programas informáticos creados para el desarrollo de aplicaciones, ya sea para uso educativo o industrial. Herramientas de MATLAB y Simulink son muy populares. Existe una amplia experiencia en el control automático en muchas industrias que pueden compartir algunas características con el petróleo y el gas (por ejemplo, la refinación de petróleo y productos químicos, aeroespaciales y automotrices). Las herramientas para actividades que son esenciales para el control automático, como la identificación del sistema, modelado, predicción y optimización están bien desarrollados.

V. Automatización de Flujos de Trabajo

Es un conjunto de técnicas y herramientas que permiten la integración de varias fuentes y aplicaciones de datos y la colaboración entre los miembros de un equipo, es una secuencia bien definida de actividades (potencialmente asistido por una computadora) para automatizar las operaciones de una empresa. Herramientas de gestión de eventos complejos proporcionan técnicas para las actividades de monitoreo como los flujos de trabajo y para responder dinámicamente a las condiciones anormales. También se conoce como gestión de procesos empresariales. En la industria de E & P, se ha convertido en un importante motor para los DOF. Dado que los procesos en la industria de E & P son complejas y requieren el uso de varias aplicaciones y el acceso a múltiples y diversas fuentes de información, hoy en día es una de las áreas de mayor interés en la industria.

VI. Modelos Proxy

Son representaciones aproximadas de un sistema dentro de un límite de condiciones predefinidas. Estos modelos se utilizan cuando no hay suficiente información para construir un modelo completo, o si el único modelo que se requiere es una representación del sistema en torno a un punto de operación. El uso de técnicas de AIPA, como las redes neuronales, algoritmos genéticos y minería de datos es común para el desarrollo de sistemas de modelos proxy. En la industria de E & P hay muchas referencias sobre los modelos más recientes de proxy.

VI.A Modelos De Yacimientos Sustitutos

Están desarrollados utilizando tecnologías AIPA, pueden ser considerados como una forma de modelos de proxy que se han introducido recientemente. Se distinguen de los modelos de proxy, ya que no se aproximan al problema. Están contruidos para reproducir con precisión los modelos de simulación de yacimientos para el análisis rápido y cuantificación de incertidumbres.

VI.B Modelos Top Down

Son modelos de simulación de yacimientos que se desarrollan a partir de datos de campo medidos como la ubicación, trayectorias, registros de pozos, análisis de núcleo, pruebas de pozos, datos sísmicos y las tasas de producción e inyección. Desde su construcción a partir de datos de campo sólo es aplicable a los campos maduros. Es el intento de deducir la física a partir de datos de campo medidos.

VII. Entornos Virtuales

Son espacios físicos o digitales, donde las empresas tratan de imitar las operaciones remotas mientras que proporcionan soporte de ingeniería y la interpretación del subsuelo, lo que sería más frecuente con la

evolución de la potencia de las computadoras y las telecomunicaciones. El entorno de la tecnología virtual también ha sido una insignia en las ofertas de tecnología para DOF. La capacidad de tomar decisiones se ve reforzada por el uso de un entorno de colaboración que reúne a expertos de diferentes lugares, los ordenadores y los datos de diferentes redes y dominios, así como los sistemas de análisis y de predicción en tiempo real. Hay muchos tipos de entornos virtuales en la industria del petróleo y gas con aplicaciones, como el apoyo a las operaciones de perforación a distancia, el monitoreo, apoyo y optimización de la producción, simuladores de entrenamiento del operador, la interpretación de la geología y la geofísica, la logística y las combinaciones de todas las anteriores.

Capítulo 2 Resultados y discusión

El presente capítulo se encarga de detallar los análisis que se desarrollaron a partir de las respuestas recopiladas de las encuestas (SPE y Universidad Surcolombiana, Apéndices A y C respectivamente) las cuales se enfocaban en indagar a cerca de las tecnologías más conocidas, problemas más comunes encontrados a lo largo de la vida profesional y académica de los encuestados. Para ello desglosamos cada una de las preguntas, seguida de los resultados y su respectivo análisis.

A. Profesionales Activos en la Industria en el Mundo

La Gestión de la Información y Los Retos del Análisis de los Activos del Petróleo

Cerca del 72% de los encuestados respondieron que la gestión e integración de datos es un reto en la administración y el análisis de la información en la industria petrolera. Del mismo modo, aproximadamente el 50% respondió que la gestión de grandes volúmenes de datos y la falta de integración entre los procesos de trabajo son también desafíos notables (Fig. 1). Estos resultados mostraron qué tan común estos desafíos se encuentran entre todo tipo de profesionales encuestados.

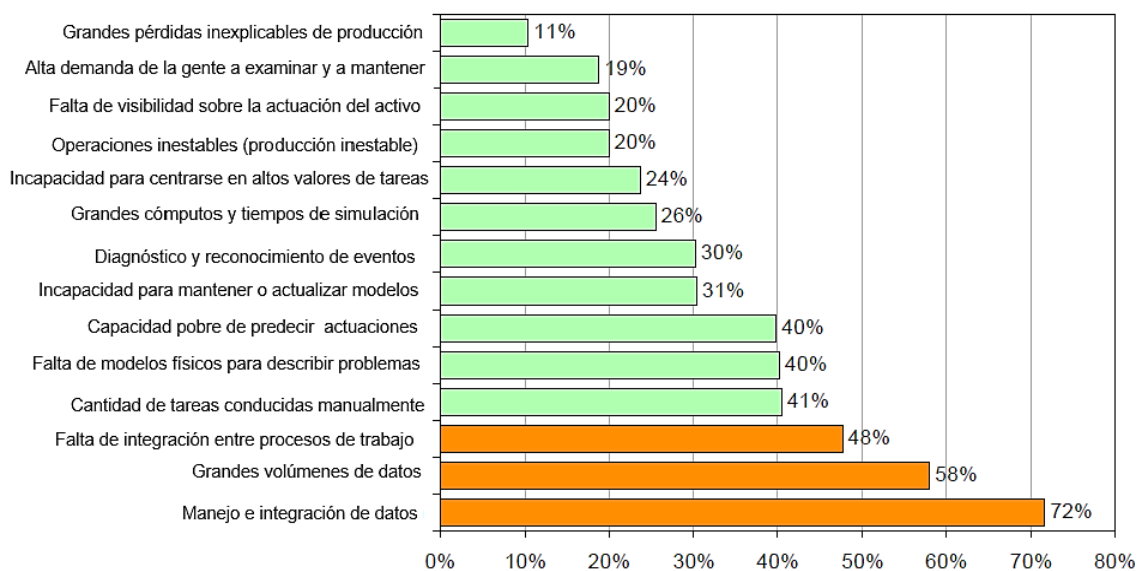


Figura 1. ¿Cuáles son los retos de la administración y análisis de datos?

¿Qué importancia tienen estos desafíos?

Todos los diferentes retos que se muestran en la Fig. 1 fueron caracterizados como los principales retos o por tener algunos o ningún desafío en concreto (Fig. 2). De todos los retos que se caracterizan

como los mayores, los siguientes fueron los cinco primeros: (1) la gestión y la integración de datos, (2) los grandes volúmenes de datos, (3) los prolongados tiempos de cálculo, (4) una gran cantidad de tareas impulsadas manualmente y (5) la falta de integración entre los procesos de trabajo. Las operaciones inestables tienen la puntuación más baja (22%) en cuanto a reto importante en la gestión y análisis de la información.

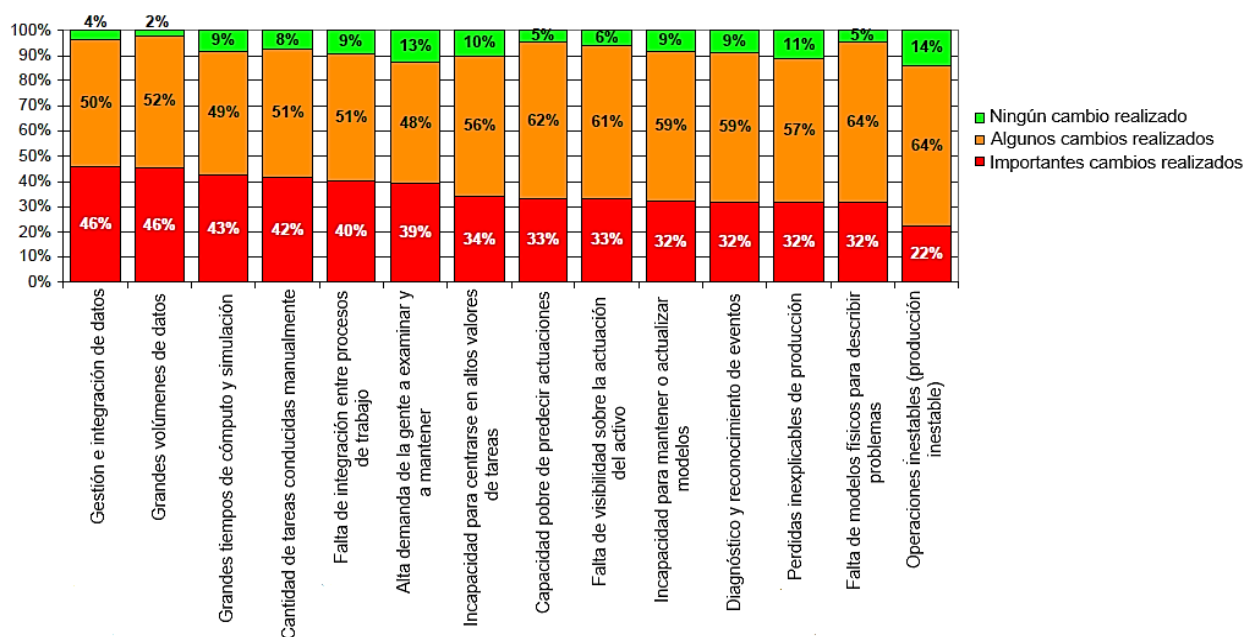


Figura 2. ¿Qué tan grandes son los retos que tienen en común la administración y el análisis de datos?

El conocimiento de la Inteligencia Artificial y de sus aplicaciones en la industria del Petróleo

La mayoría de los encuestados (> 50%) indicaron tener conocimiento de aplicaciones en redes neuronales y la minería de datos.

Alrededor del 40% o más reveló que conocían la automatización del flujo de trabajo, la lógica difusa, sistemas expertos, y las aplicaciones automáticas de control de proceso (Fig. 3).

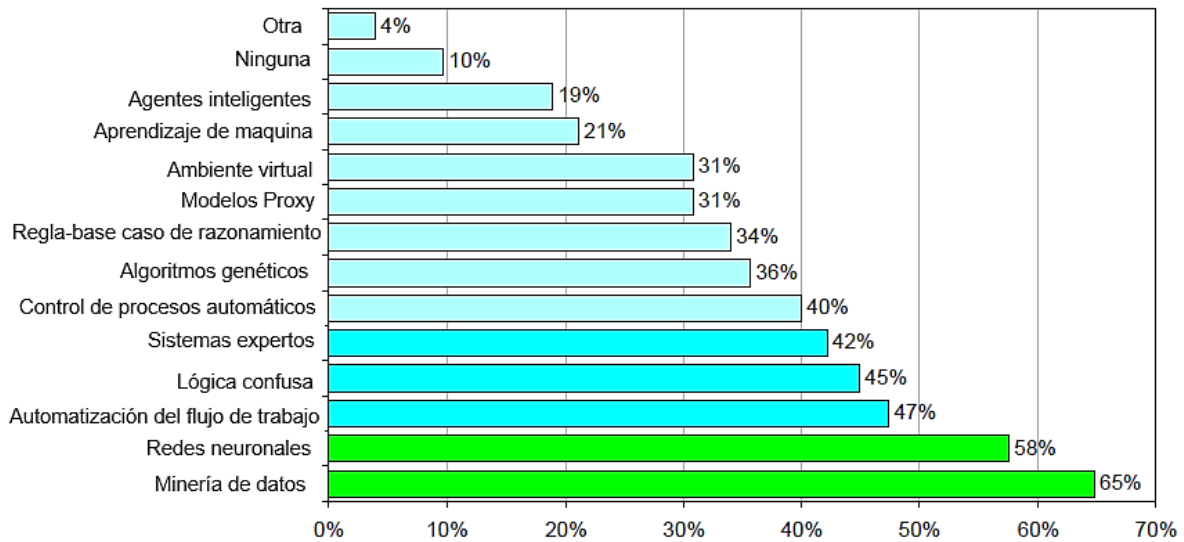


Figura 3. Aplicaciones conocidas de la AIPA en la industria petrolera.

Nivel de conocimiento de La Inteligencia Artificial y del Análisis Predictivo

Más del 50% de los encuestados declararon que están plenamente comprometidos o que con frecuencia aplican la automatización del flujo de trabajo y el control automático de procesos.

Entre el 40% y el 50% están comprometidos en utilizar frecuentemente casos de razonamiento basado en reglas, la minería de datos, modelos de proxy y entornos virtuales (Fig. 4).

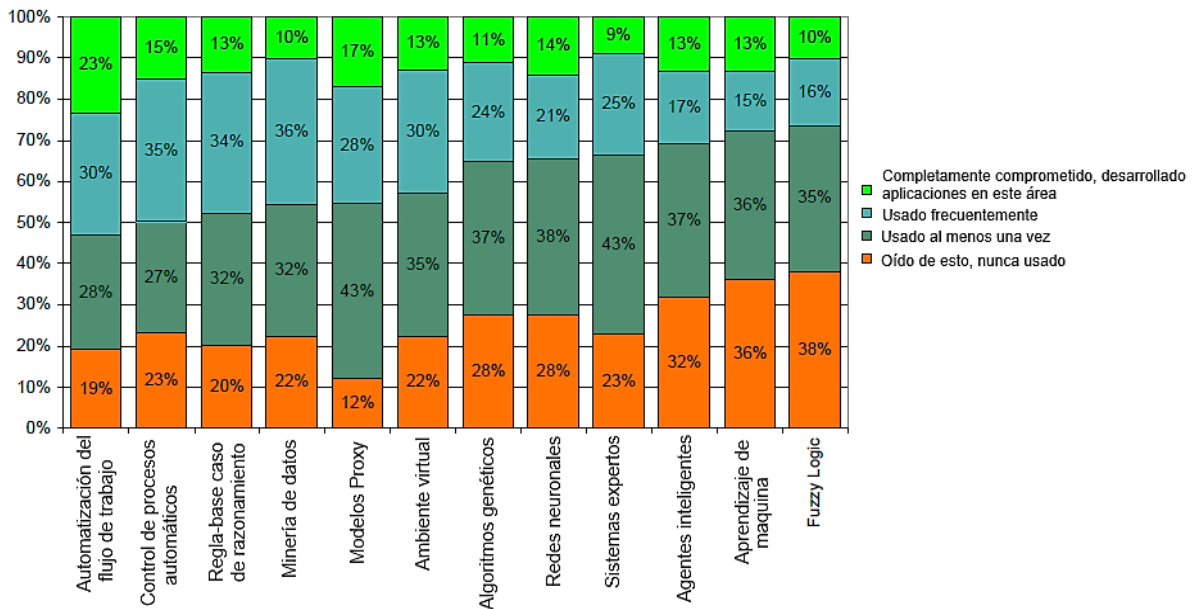


Figura 4. Nivel de conocimiento de tecnologías de AIPA

¿Correlación con el nivel profesional e información disponible?

La figura 5 muestra que los administradores y consultores superan a los ingenieros en el uso de aplicaciones AIPA. Los que están en la educación (estudiantes y profesores) tienen el mayor nivel de "totalmente comprometidos o desarrollar aplicaciones" en este ámbito.

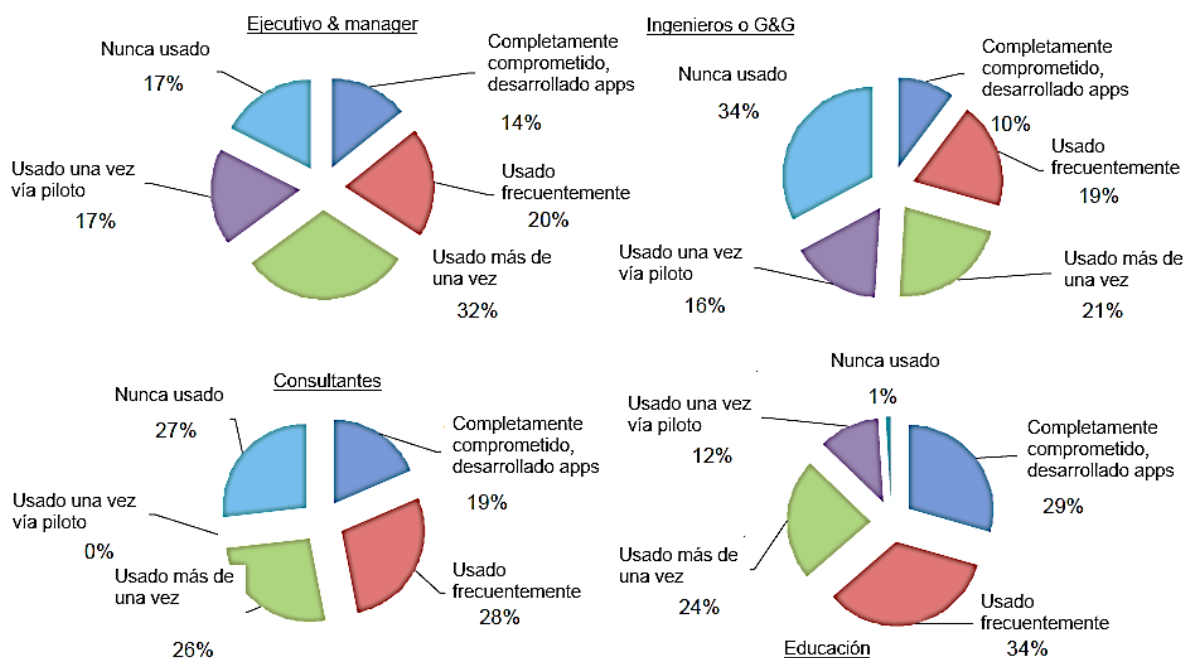


Figura 5. Nivel de uso de acuerdo al rol/cargo.

De los ingenieros, 50% han utilizado aplicaciones más de una vez, con frecuencia o están participando plenamente en el desarrollo de aplicaciones.

De los ejecutivos / gerentes, el 66% han utilizado aplicaciones más de una vez, con frecuencia o están totalmente comprometidos en el desarrollo de aplicaciones.

De los consultores, el 73% han utilizado aplicaciones más de una vez, con frecuencia o están participando plenamente en el desarrollo de aplicaciones.

De las personas involucradas en la educación y la academia, el 87% han utilizado aplicaciones más de una vez, con frecuencia o están participando plenamente en el desarrollo de ellas.

Las aplicaciones AIPA más comunes y las soluciones a la empresa o área de trabajo

El 70% o más han utilizado la automatización del flujo de trabajo y modelos de proxy.

40% o más han utilizado con frecuencia o están participando en la automatización del flujo de trabajo, modelos de proxy, minería de datos y el control automático de procesos.

40% o más de los encuestados han utilizado al menos una vez (a través de pilotos o no) todos (o ninguna) de las aplicaciones AIPA.

40% o más nunca han utilizado técnicas de lógica y de aprendizajes automáticos o difusos. El aprendizaje automático, algoritmos genéticos, lógica difusa y agentes inteligentes tienen el mayor número solamente en aplicaciones piloto.

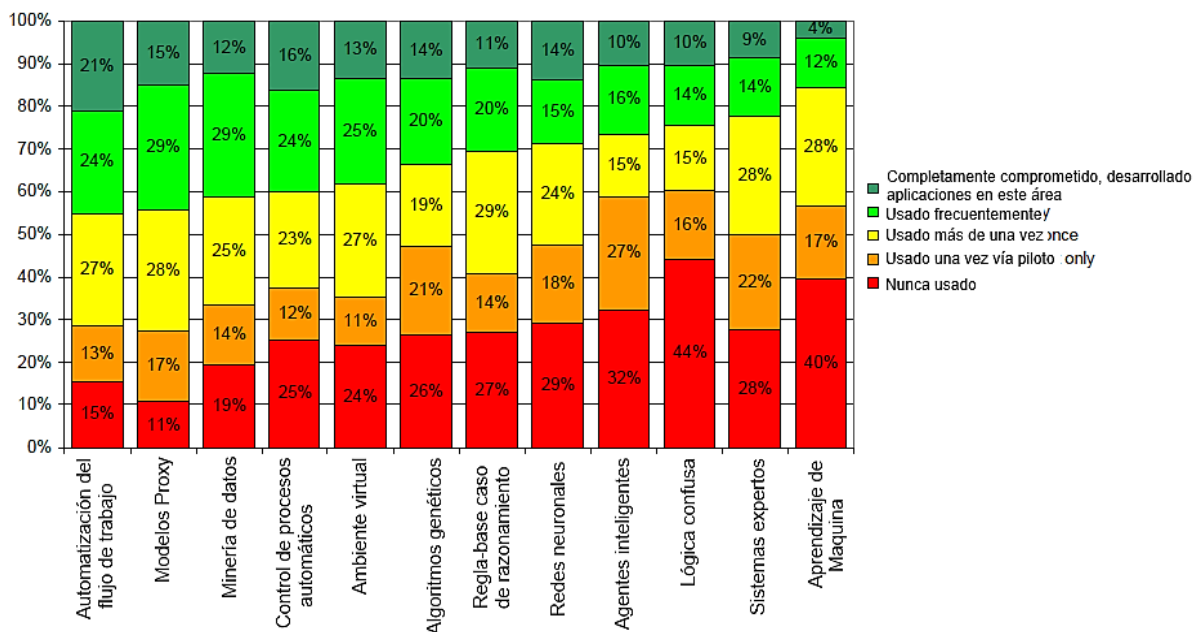


Figura 6. Tecnologías AIPA usadas por los encuestados.

¿Cuál es la percepción del nivel de madurez de cada tecnología?

Para todas las tecnologías, "mejorar" es el mayor nivel de percepción de la madurez y desarrollo.

El 34% percibe al control de proceso automático como la "tecnología productiva" más madura.

Cerca del 50% o más perciben que los modelos de proxy y la minería de datos están mejorando.

Aproximadamente del 41% a 46% percibe que el control de proceso automático, automatización de flujo de trabajo, los algoritmos genéticos y entornos virtuales están mejorando.

Los mayores niveles de frustración (25 a 28%) ocurrieron en los sistemas expertos, agentes inteligentes y aprendizaje automático.

Los mayores niveles de potencial para crecer y mejorar (21 a 22%) ocurrieron en la lógica difusa y aprendizaje automático.

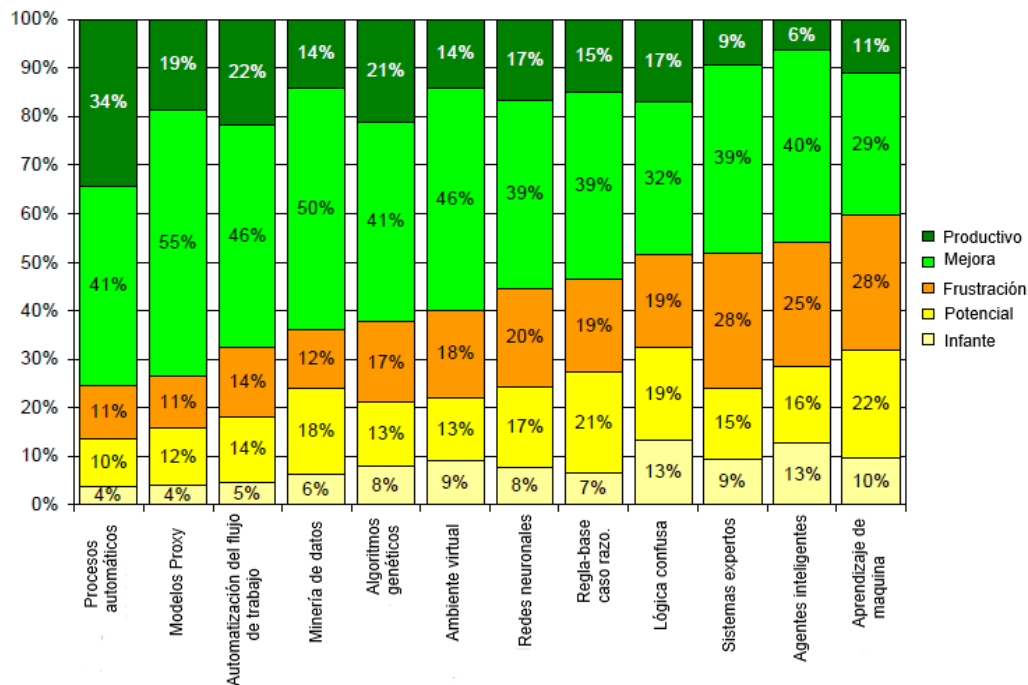


Figura 7. Nivel de madures percibido

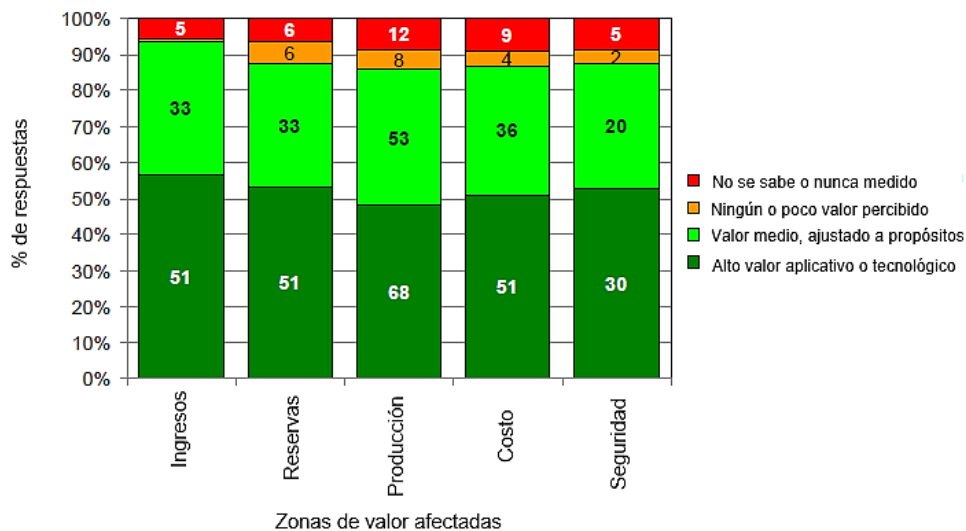


Figura 8. Áreas impactadas por Data Mining.

La gestión e integración de datos es un desafío común en la administración y análisis de la información, con el 75% de los que respondieron estar de acuerdo en esto.

La gestión e integración de datos, la gestión de grandes volúmenes de datos, grandes tiempos de cálculo, gran cantidad de tareas impulsadas manualmente, y la falta de integración entre los procesos de trabajo fueron los cinco primeros de la lista "gran reto".

Aproximadamente el 50% de los encuestados indicó conocimiento de aplicaciones en redes neuronales, minería de datos y redes neuronales.

Alrededor del 40% o más de los encuestados indicaron tener conocimiento de las aplicaciones automáticas de control de procesos, redes neuronales, minería de datos y la automatización de flujos de trabajo, la lógica difusa, sistemas expertos y aplicaciones en control de procesos.

Entre el 40 y el 50% declaró que están plenamente comprometidos o con frecuencia utilizan aplicaciones en la automatización del flujo de trabajo, control automático de procesos, razonamiento basado en reglas, la minería de datos, modelos de proxy y los entornos virtuales; 50% o más de todos los encuestados han utilizado más de una vez, utiliza con frecuencia o están participando plenamente en el desarrollo de aplicaciones; 70% o más de haber usado la automatización del flujo de trabajo y modelos de proxy, y el 40% o más se han utilizado con frecuencia o que están participando plenamente en los modelos de proxy, minería de datos y el control automático de procesos.

La minería de datos parece ser el proveedor de tecnología más importante para cualquiera de las áreas de valor impactadas en exploración y producción, aportando el 13% o más de las respuestas positivas. También contribuye con el 30% o más para la gestión de datos y la integración, filtrado de datos y la limpieza, y la búsqueda de información. El valor agregado de la minería de datos para cualquiera de las áreas de valor impactadas en E & P se percibió como de medio a alto en un 90% de los encuestados.

El control automático de proceso es percibido como la tecnología "productiva" más madura con un 34% de los encuestados; el 50% percibe que los modelos de proxy y la minería de datos están mejorando, y los mayores niveles de frustración (25 a 28%) ocurrieron en los sistemas expertos, agentes inteligentes y aprendizaje automático.

Ingenieros, geólogos y geofísicos que trabajan en empresas operadoras tenían el nivel más bajo de conocimiento sobre AIPA y expresaron que no hay suficiente información disponible. Ejecutivos / gerentes, consultores y académicos (profesores y estudiantes), tienen un alto nivel de conocimiento sobre técnicas de AIPA y consideran que hay fuentes suficientes o limitadas de información disponible.

B. Universidad Surcolombiana

Estudiantes

Luego de realizar los correspondientes análisis de la información adquirida, se puede afirmar que la mitad de los estudiantes/egresados no tienen conocimiento relacionado al término AIPA (Fig.9), pero aproximadamente el 78% de ellos reconocen alguna de sus aplicaciones o variedades que ofrece, siendo la red neuronal artificial (41%) junto con la minería de datos (29%) la tecnología más conocida por los encuestados que las identificaron, seguidas por la automatización de procesos y la lógica difusa con un (10%) y (20%) respectivamente (Fig.10).

De igual manera es notable que aproximadamente 1 de cada 5 definitivamente no conoce ni reconoce el término AIPA o alguna de sus tecnologías aplicadas a la industria del petróleo, lo cual podría ser un indicativo de preocupación, teniendo en cuenta que serán en un futuro miembros activos de ella y será muy probable que en conjunto con alguna de las tecnologías mencionadas en el párrafo anterior.

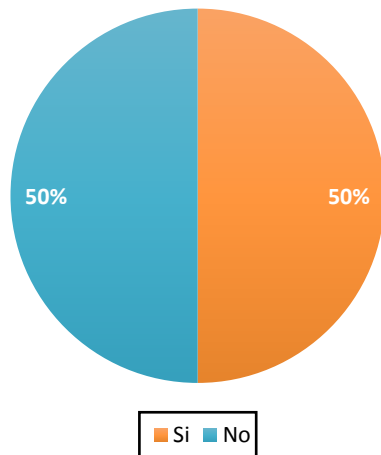


Figura 9. Conocimiento de las AIPA por parte de los Ingenieros docentes.

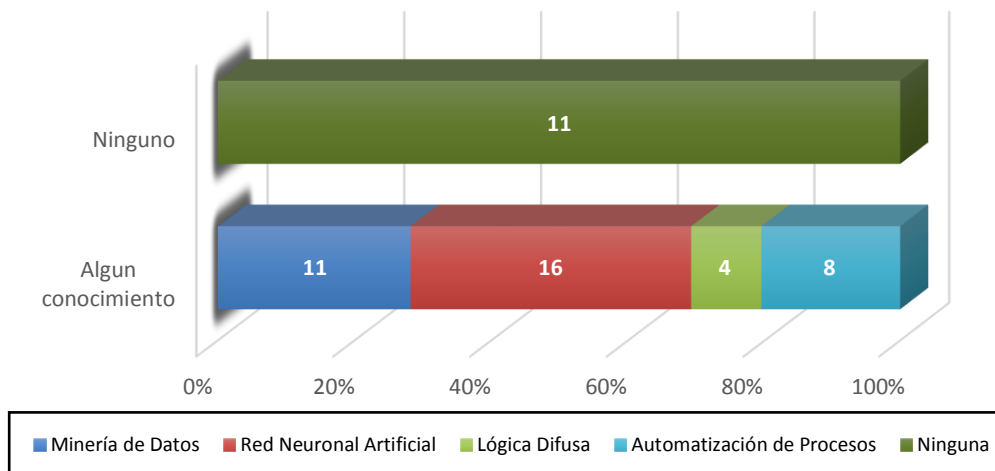


Figura 10. De las siguientes tecnologías. ¿Cuál le es familiar a los estudiantes?

Por otro lado, se identificó que las áreas de la Ingeniería de Petróleos preferidas por los estudiantes (Fig.11) son la producción y la perforación con un 40% y 28% respectivamente, seguidas de Yacimientos, Geología/Geofísica y por última HSEQ; contando cada una de ellas con 18%, 12% y 2% correspondientemente. Esto podría estar relacionado con los resultados mostrados en la Fig. 10, debido a que las tecnologías AIPA en la industria petrolera han tenido un gran crecimiento y asimismo su mayor aplicación ha sido el área de la producción y los procesos en las instalaciones de tratamiento y manejo.

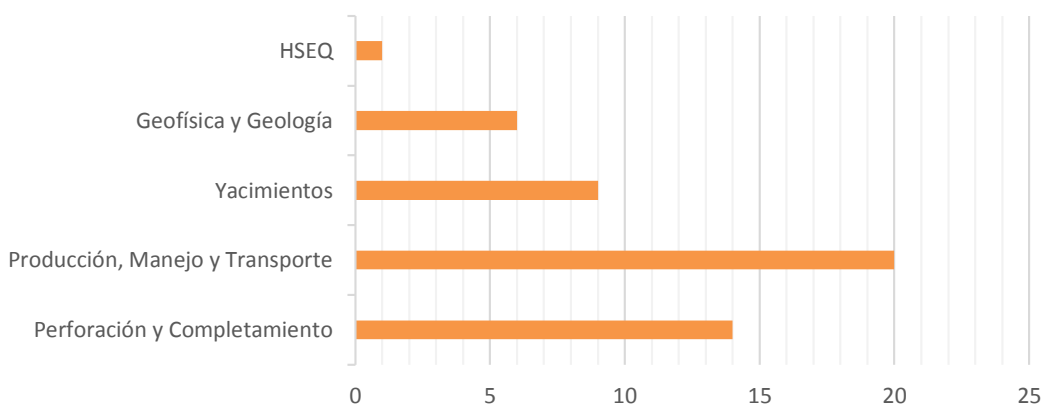


Figura 11. Área de interés de la Ingeniería de Petróleos por parte de los estudiantes.

Se determinó que los problemas o deficiencias de mayor impacto negativo o que dificulta el desarrollo de las actividades en las áreas previamente seleccionadas (Fig.12) son la integración de la información que junto con el reconocimiento y diagnóstico de problemas tomando ambas un 40% de todas las respuestas recibidas;

con un 14%, 12% y 8% le siguen la integración de procesos, la predicción de sucesos y la disminución de la productividad respectivamente; y en una menor proporción se percibió con un mismo nivel de impacto nocivo a las operaciones inestables, falta de modelamientos físicos, tareas manuales y la gran cantidad de información con un 6% cada una. Según se puede observar, los tiempos de simulación es un aspecto que no genera mayores dificultades.

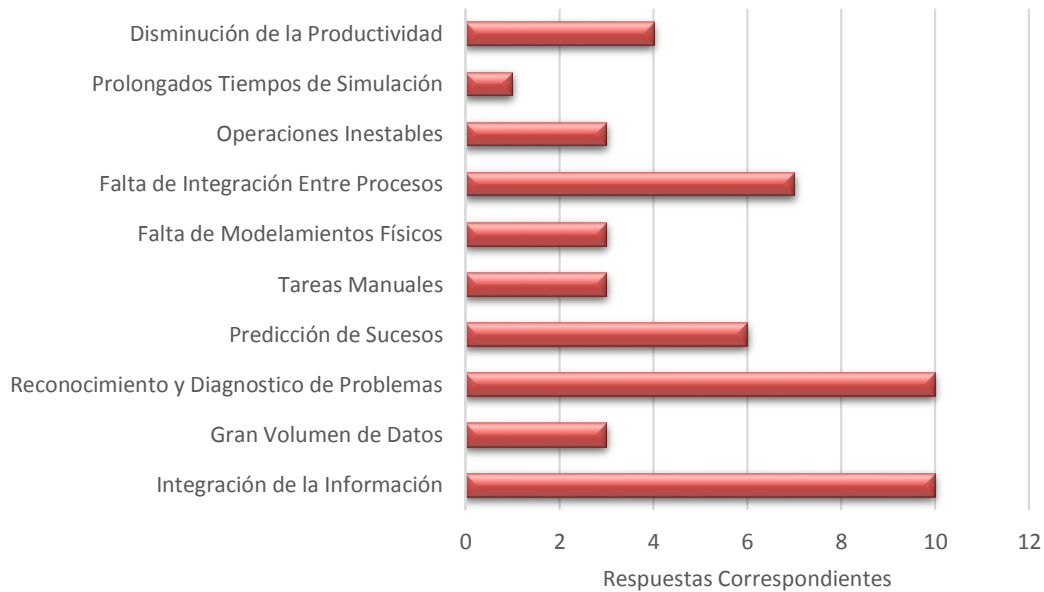


Figura 12. Deficiencias/Problemas de mayor impacto negativo percibidas por los estudiantes.

Es un aspecto positivo que el 100% de los estudiantes activos/egresados encuestados estarían interesadas en conocer o profundizar aún más sobre las tecnologías de AIPA (Fig.13), aquel porcentaje estuvo dividido según los objetivos de dicho interés, destacándose con un 56% el de ampliar los conocimientos propios sobre estas tecnologías de las diferentes áreas que hacen parte de la industria petrolera, finalmente la posible (por no decir segura) aplicación o relación con una de ellas en un futuro empleo y el interés de desarrollar un sistema inteligente de este tipo son los objetivos finales con un 30% y 14% respectivamente.

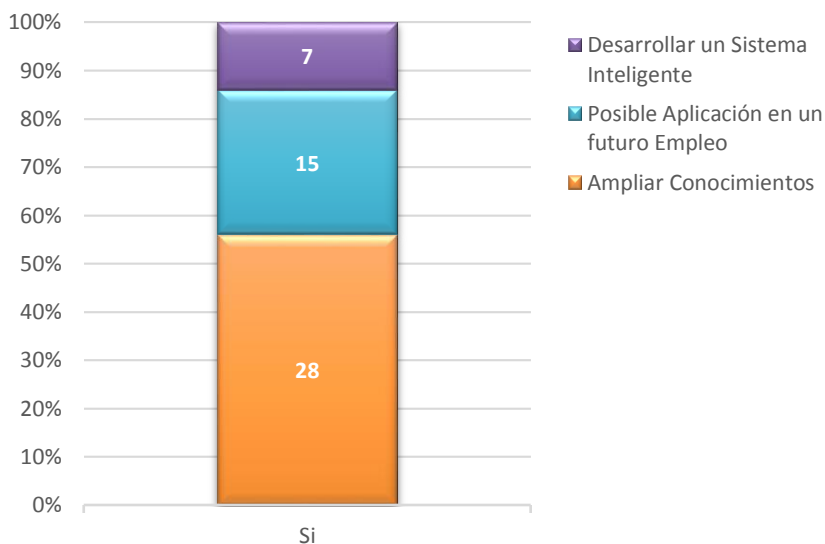


Figura 13. ¿Le gustaría conocer aún más acerca de AIPA?

Con base en los resultados mostrados anteriormente y aprovechando el total interés demostrado por los encuestados, sería positivo pensar en buscar una oportunidad de ampliar de manera directa los conocimientos acerca de la evolución y la aplicación de las modernas tecnologías de AIPA en la industria petrolera y así poder abarcar un área desconocida para el 22% (que es un índice alto) de los estudiantes (egresados y estudiantes).

Para ello se han de planear estrategias para adquirir y transmitir dichos conocimientos para aplicarlos en futuros sistemas con los que se pudieran contar, hecho esto se puede asegurar que se alcanzará un mayor nivel de competitividad de los futuros egresados en el ámbito laboral y en la misma medida de la calidad académica que ofrecería el programa.

Ingenieros Docentes

Por otro lado, para el grupo de ingenieros docentes divididos en las áreas de perforación, producción, yacimientos y proyectos con un 20% cada uno de la muestra tomada además de las de geología/geofísica y ciencias básicas sumando el 20% restante de manera equitativa (Fig.16); los resultados acerca de las tecnologías de AIPA muestran que tan solo el 40% de ellos afirmaron tener algún conocimiento sobre el término en cuestión (Fig.14), pero lo anterior contrasta con tecnologías que aseguraron haber conocido o manipulado, con ello se afirma que de manera definitiva el 70% de los encuestados tienen algún o ningún conocimiento de la expresión AIPA, pero aun así conocen y/o reconocen alguna de sus tecnologías, siendo la

automatización de procesos la más destacada con un 40% de respuestas a la encuesta, detrás de ella se sitúa la minería de datos con un 20% y finalmente la red neuronal artificial con un 10% (Fig.15).

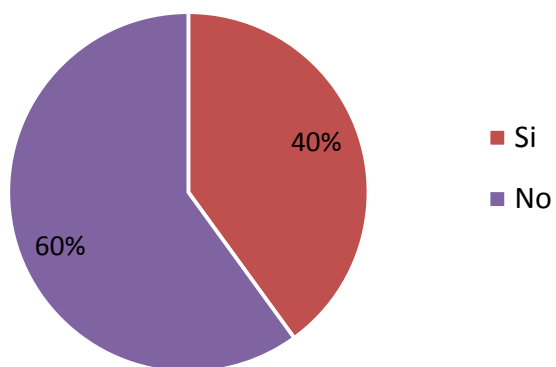


Figura 14. Conocimiento de tecnologías de AIPA por parte de los Ingenieros Docentes

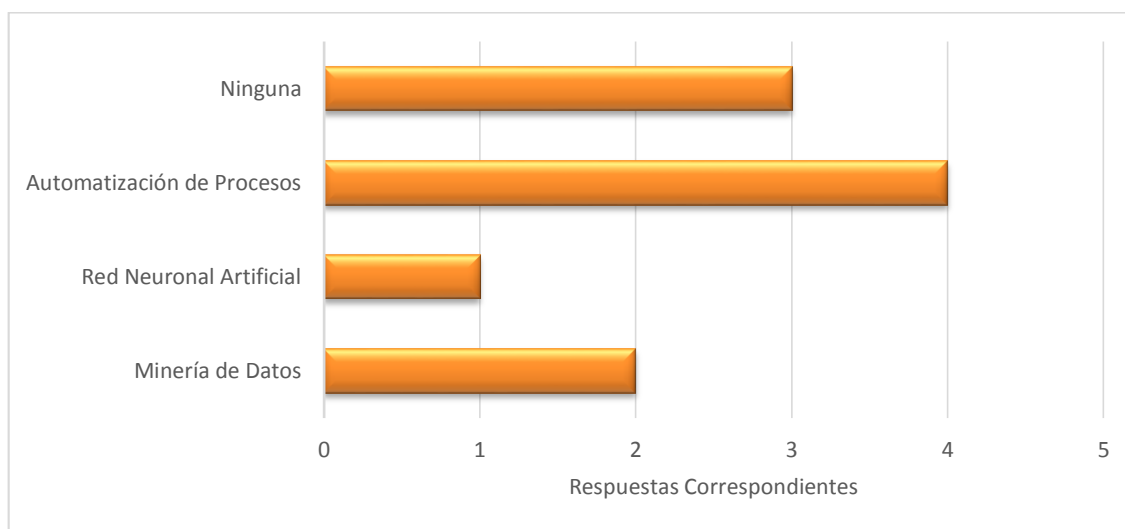


Figura 15. Tecnologías conocidas o usadas alguna vez por parte de los Ingenieros Docentes.

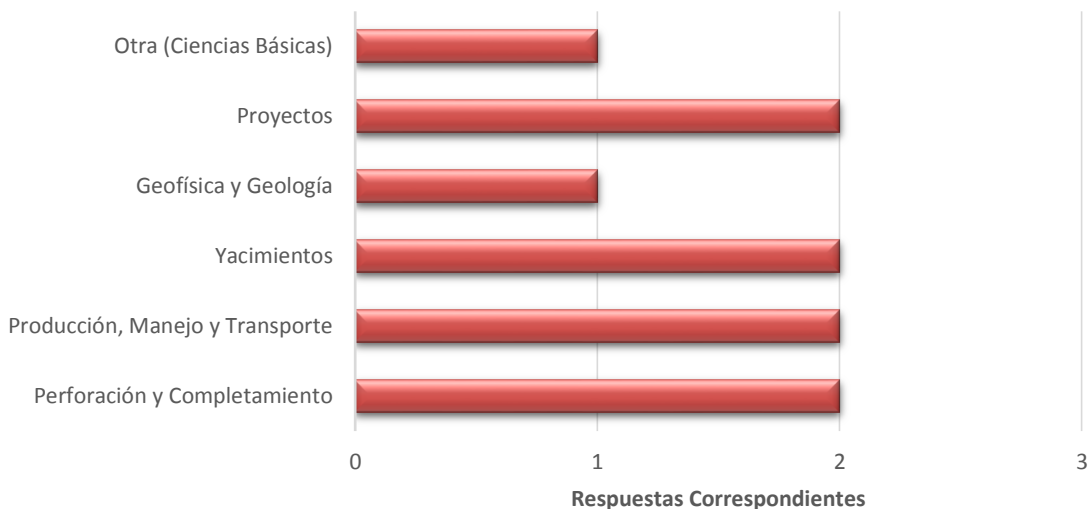


Figura 16. Área de la Ingeniería de Petróleos orientada en el programa por los Ingenieros Docentes.

Se destaca que la integración de la información junto con el reconocimiento y diagnóstico de problemas representan un 60% de la opinión registrada por los ingenieros docentes encuestados hacia los retos más notables a superar en la industria petrolera, seguido de predicción de sucesos, modelamientos físicos, integración de procesos y prolongados tiempos de simulación con una misma proporción cada una sumando el 40% restante de las respuestas ante la cuestión mencionada (Fig.17).

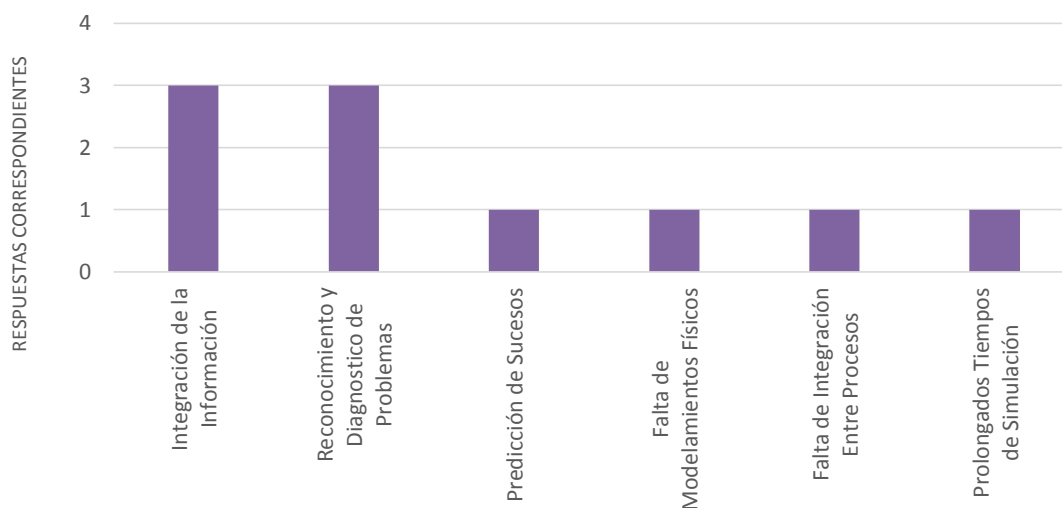


Figura 17. Retos a superar según el área que orienta.

Finalmente, las habilidades con softwares comerciales y las bases teóricas son factores que se deben estimular de una manera más activa según 7 de cada 10 ingenieros docentes encuestados, un 20% opinó que las prácticas laborales es un aspecto importante que ha perdido presencia últimamente en los estudiantes del programa y el inglés

como la última de las competencias que hay que potenciar para aumentar la competitividad de los futuros egresados que serán miembros activos en el campo laboral de la industria petrolera (Fig.18).

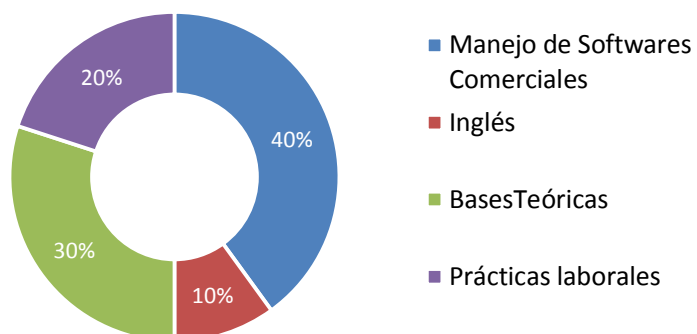


Figura 18. Aspectos más importantes a potenciar en los estudiantes.

Capítulo 3 Registro de Resultados de Aplicaciones de Tecnologías AIPA

A continuación, se podrá encontrar de manera cronológica y dividida por áreas de la Industria Petrolera, las aplicaciones y los resultados de las diferentes tecnologías AIPA mencionadas en el capítulo I. La información presentada es el resultado de una búsqueda de información por medio de trabajos técnicos (Paper) publicados por la SPE y otras agremiaciones del orden intelectual en la Industria de los Hidrocarburos, a los cuales se les aplico una serie de filtros para depurar información que no aportaba a la investigación y que por el contrario era desenfocada o no contribuía al cumplimiento de nuestro objetivo. Todos y cada uno de los casos mencionados más adelante, podrán ser profundizados, si se desea; consultando la bibliografía indicada y que se encuentra en el listado de referencias de este documento.

Inicios

Si bien es seguro que se han realizado una gran variedad de aplicaciones de estas tecnologías en las diferentes áreas de la industria petrolera, se ha hará énfasis en las que mayor impacto ha tenido en las diferentes áreas de la industria petrolera y que además se tienen registros o estudios de casos al respecto.

En primer lugar observamos el caso de cómo la basta cantidad de información le hacían un llamado urgente a estas tecnologías y la solución a ello se registra en Estados Unidos alrededor del año 1990 (Thrasher, T. SPE 20596) con la propuesta por parte de la CWLS de adoptar el formato LAS y su posterior adopción en la industria hasta llegar incluso a la creación de 3 versiones mejoradas ya para el año 1999 (Kenneth, H. et al; SPE 56784) todo esto por la gran aceptación y efectividad que tuvo en las áreas de análisis de presiones en test de producción, debido a que para esa década, la cantidad de información que se empezaba a procesar y de precisión demandada cada vez era mucho mayor y este formato se desenvolvía de una manera muy efectiva y fluida en los disquetes en conjunto con los ordenadores. Ya para el año 2000 se registra la aplicación de redes neuronales artificiales (ANN) el área de presiones en China (Yuanzhong, D. SPE 64652) dando como resultado una mayor exactitud en la estimación de resultados de interpretación de modelos y de parámetros con el entrenamiento de estas redes con modelos establecidos.

Exploración y Perforación

A inicios de los 90's se destacó una herramienta neuronal de análisis en exploración llamada PROSPECT EXPLORER desarrollada por la Neural Mining Solutions Pty Ltd., demostró gran superioridad sobre numerosas áreas de los proyectos dentro de diversas regiones de Australia y con diferentes tipos de datos.

Hacia el año 1998, Holanda inicia con la puesta en marcha de un algoritmo el cual evalúa la calidad de las imágenes sísmicas al proponer el concepto de imagen bifocal para analizar y determinar los errores en el proceso de migración debido a las deficiencias ocultas durante el proceso (Berkhout, A & Verschuur, B.)

Pasando al 2002 en la cuenca del Lago Maracaibo se puso en marcha la identificación de modelos con técnicas de optimización difusa en minería de datos geológicos que emplea métodos de optimización global para buscar características útiles, prelacones patrón y representaciones funcionales ordenadas para dar como resultado en modelos difusos de una gran serie de datos que caracterizan las funciones desconocidas tan precisas como sea posible (Fino, J & Buitrago, S. SPE 78340)

Para el 2003, en Bahreín (Osman, E. SPE 81422) ya se contaba con una red neuronal que determinaba el cambio de la densidad con la temperatura y la presión de lodo al conocer su tipo (base agua o aceite) y su densidad a condiciones estándar (0 psig y 70°F), la red neuronal predijo resultados con errores absolutos promedios de hasta 0.367% y un coeficiente de correlación de 0.9998. Este modelo fue desarrollado a partir de 234 datos experimentales, de los cuales 117 se usaron para entrenar a la red, 58 para validar el modelo y los 59 restantes para la evaluación final. Los rangos de aplicación validados y evaluados fueron: densidad (11,14 a 18,00 ppg), presión (0 a 14000 psig) y temperatura (70 a 400°F).

En Egipto, para el año 2007 ya la cantidad y la capacidad de transmisión de la información recopilada por los sensores actuales son muy grandes a comparación de décadas anteriores, es por esto que la capacidad de la interpretación, evaluación y toma de decisiones también tengan que haber aumentado a la par o aún más, se presentan diferentes algoritmos o métodos automáticos para ello (Mathis, W. SPE 107567).

De nuevo en el golfo pérsico (Arabia Saudita), en el 2011 (Muhammad, H. SPE 149055) se aplicó una tecnología AIPA de flujo de trabajo que redujo los ciclos de tiempos en la interpretación de los efectos en superficie de la calidad de la información sísmica al integrar la información satelital, de superficie y subsuelo.

Facilidades de Producción

En el 2004 se desarrollaron y aplicaron modelos de ANN para identificar regímenes de flujo y predecir la carga de líquido en flujo horizontal multifásicos, se presentan 2 modelos de ANN, las velocidades superficiales de gas y líquido, presión, temperatura y propiedades de flujo son usadas como datos de entrada al modelo. La información fue dividida en tres secciones: entrenamiento, validación y pruebas. Se evidenció que los modelos desarrollados brindan mejores predicciones y una exactitud mayor que las correlaciones empíricas desarrolladas específicamente para esos grupos de datos. El modelo de régimen de flujo predice correctamente en más del 97% de los datos y el modelo de la carga de líquido brinda predicciones con un % de error absoluto de 9.407, desviación estándar de 8.544 y un coeficiente de correlación de 0.9896. Los 111 datos utilizados durante las tres fases son de los de estudios realizados por Minami and Brill (Osma, El Sayed. 2004 SPE Production & Facilities)

De nuevo en el año mencionado, en Estados Unidos se hace uso de las técnicas predictivas de Data Mining para optimizar la producción (Zangle, G. SPE 90372). Allí se muestra como modelos predictivos de minería de datos pueden ser usados para mejorar y acelerar la producción de yacimientos de hidrocarburos. El proceso de descubrimiento de conocimiento, combinado con la automatización del flujo de información para mejorar las prácticas actuales de producción.

En la cuenca del Río Sacramento en EE.UU se empleó una distribución zonal y oportunidades de incrementar la producción utilizando minería de datos (SPE 90266), la cual consistió en una serie de herramientas de minería de datos como regresión, redes neuronales y lógica difusa que se utilizan para identificar candidatos para trabajos de remediación/estimulación y así incrementar la producción, se aplicó en una zona del campo Kern River en California con resultados prometedores.

Levantamiento Artificial

En el año 2011 se emplea en Estados Unidos un algoritmo para la detección automática de fallas prematuras en bombeo mecánico (Liu, S. SPE 146038) Al término de las pruebas se sugiere la combinación de los algoritmos AdaBoost, AdaBNet y AdaDT, para el aprendizaje y el reconocimiento de posibles fallas en un campo petrolero. Los resultados muestran que los algoritmos propuestos tienen una alta precisión para la detección de una falla temprana, que es más de 90% para los datos dados. Con el fin de lograr un modelo general (un modelo general para diferentes campos) y reducir aún más la posible falsa alarma, es importante para etiquetar los datos de entrenamiento correctamente y obtener los modelos bien entrenados.

Petrofísica

(Xiating, F. & Chengxiang, Y. Northeastern University, Shengyang) Para el aprendizaje de estructura desconocida del modelo, hay dos tipos de métodos pueden ser adoptadas con eficacia. Uno es el aprendizaje basado en redes neuronales y la otra es la búsqueda de algoritmos evolutivos. Se han propuesto una serie de métodos eficaces para el aprendizaje de conocimientos de mecánica de roca, el conocimiento aprendido se ha aplicado varios campos de la mecánica de rocas y la ingeniería. Los resultados son satisfactorios.

Se logró una caracterización mejorada de yacimientos utilizando clasificadores petrofísicos dentro de electrofacies en Estados Unidos durante el año 2012 (Teh, W. SPE 154341) Se desarrolló una metodología para predecir la permeabilidad de las mediciones de los registros de pozos, tanto en yacimientos de carbonatos como de areniscas. El método se basa en la identificación de electrofacies de registros de pozos y la correlación de los clasificadores petrofísicos con electrofacies. *El método proporciona una forma de predecir la permeabilidad en los pozos que no tienen el análisis de núcleos.*

Durante La *SEG San Antonio 2011* en Estados Unidos fueron expuestos los resultados de la predicción de la permeabilidad de los datos de registro de pozos y mediciones básicas utilizando máquinas de regresión de vectores de soporte (SVRM), Los resultados obtenidos muestran que aunque el número de puntos de datos de la permeabilidad de las mediciones básicas se limitan a extrapolar la función, aprendido de las características de la formación (de entrada, transformado así los datos de registro) en la función de prueba. Muestran una buena adaptación con una muy alta correlación no lineal utilizando la función Kernel RBF.

Un ejemplo de síntesis ilustra el método de tipificación de rocas para una secuencia idealizada de capas penetradas por un pozo vertical. Los resultados y el análisis del muestran que las propiedades de los tipos de roca se identificaron correctamente (Popielski, A. SPE 159255), los resultados apuntan a la clasificación de rocas a partir de registros de pozos convencional en shales.

Transporte

En la conferencia del 99' de la NACE desarrollada en Estados Unidos se mostraron técnicas de data Mining para controlar la corrosión, el software se utiliza para identificar áreas en las que el diseño de la protección a la corrosión es deficiente, para controlar el efecto de los cambios en el sistema de protección contra la corrosión y la tendencia a la acumulación daños para la predicción de la vida. Esta fue la primera fase de implementación de una base de datos sobre las estructuras (Raley, R. & Wang, M. NACE 237).

Un sistema de monitoreo que podría proporcionar una plataforma para integrar diferentes tecnologías de detección, incluyendo el sistema de fibra óptica, para medir cambios en la condición del medio ambiente de una tubería ha sido desarrollado para controlar los Cambios de presión, Cambios de temperatura, Propagación de fisuras, pH, concentración de CO₂. El sistema también tiene la capacidad de detectar fugas, deformación, flexión, movimiento de suelos y otras actividades, etc., fue presentado en el 2007 en Canadá (Gu, P., Zheng, W. & Revie, R. NACE 07267).

EOR/IOR

En el 2002 en EE.UU se logró la identificación de prácticas exitosas en el fracturamiento hidráulico mediante el uso de las herramientas inteligentes de minería de datos; aplicación a la formación codell en la cuenca DJ (Mohaghegh, S. SPE 77597) Esta metodología tiene el potencial de abrir nuevas puertas en estudios integrales y detallados como una alternativa a la simulación y modelado de campo que a veces puede ser denegado debido al alto costo y la falta de información y de datos incorrectos. Si se dispone de suficiente información (datos) y el costo no es un problema, la simulación y modelado proporcionarían valioso detalle que puede llegar a ser crucial en las operaciones a gran escala.

En el Reino Unido en el 2005 (Zaki, K. SPE 95328) se evaluó el desempeño de la inyección de agua en un campo del Mar del Norte mediante técnicas de minería de datos. En este estudio, las técnicas de minería de datos se aplicaron con el fin de comprender los factores que afectan al rendimiento de inyección en el campo. El estudio utiliza 11 años de datos de inyección y de calidad de agua de 14 pozos en dos bloques diferentes. Los modelos dinámicos de comportamiento se sintetizaron utilizando una combinación de "redes neuronales artificiales" (ANN), una técnica de aprendizaje automático desde el campo de la Inteligencia Artificial y "La reconstrucción del estado del espacio multivariante " de la Teoría del Caos.

Se encuentra una recopilación de estudios enfocados en el pronóstico para la inyección de tenso-activos en pozos de petróleo a partir de una metodología que integra técnicas de inteligencia artificial y minería de datos (INTERCIENCIA OCT 2009, VOL. 34 N° 10) La información de este procesamiento fue modelada en una base de conocimiento, que junto con las máquinas de inferencia de un lenguaje, denominado HAries, permitieron la construcción de un sistema capaz de tomar decisiones en relación a la inyección de tenso-activos y sugerir la tecnología más apropiada a usar en cada contexto. El sistema se aplicó a diversos pozos, obteniendo, en todos los casos, resultados satisfactorios.

Yacimientos

Nos remontamos al año 1999 en Kuwait (SPE Reservoir Eval. & Eng., Vol. 2, No. 3, June 1999), donde se desarrolló y aplicó un modelo de red neuronal para la estimación de las propiedades PVT de los crudos de la región. Este estudio presenta los modelos más precisos para la predicción de propiedades PVT de los crudos del Medio Oriente que las correlaciones PVT existentes. A diferencia de otras correlaciones que fueron desarrolladas usando técnicas de regresión, estos modelos se desarrollaron usando redes neuronales artificiales. Varios diseños de red neural se investigaron para obtener los modelos PVT más precisos. Los modelos son capaces de predecir la presión del punto de burbujeo y el factor de volumétrico de formación del petróleo como funciones de la relación gas-aceite en solución (RS), la temperatura, la gravedad específica del gas y la gravedad específica del aceite. Los modelos presentados en este estudio se basaron en gran análisis de datos PVT de aprox. 498 conjuntos de datos, más de los publicados para los crudos de Oriente Medio.

De nuevo en Medio Oriente (Bahréin) en el año 2005 se destaca la aplicación de modelos de redes neuronales artificiales para predecir las propiedades PVT de las salmueras de campo. Se desarrollaron dos redes neuronales: La primera predice la densidad de la salmuera, el factor volumétrico de formación (FVF), y la compresibilidad isotérmica como una función de la presión, la temperatura y la salinidad. La segunda se desarrolló para predecir la viscosidad de la salmuera como una función de la temperatura y la salinidad solamente (Osman, A. & Al-Marhoun, M. SPE 93765). De 104° datos, 520 fueron utilizados para entrenar los modelos de redes neuronales, 260 para validar las relaciones establecidas durante el proceso de formación y ajustar los pesos calculados, y los restantes 260 para poner a prueba el modelo para evaluar su exactitud.

Hacia el 2003 en U.K se puso en marcha la vigilancia automatizada de yacimientos a través de software de minería de datos (de Jonge, Gert. SPE 83974). El concepto para la vigilancia de yacimiento automatizado fue desarrollado e implementado con éxito en una solución de software basada en relaciones cliente-servidor. Las principales ventajas del sistema son: entregar datos en tiempo real en un formato manejable al escritorio del ingeniero, gran ahorro de tiempo en la vigilancia de yacimiento de rutina, las decisiones más rápidas para adaptar las directrices de funcionamiento, la gestión de datos integrada y los datos de vigilancia QC'ed.

Hacia el año 2009 en Grecia se tuvo la oportunidad de observar los resultados (February 2009 SPE Reservoir Evaluation & Engineering) de la aplicación de redes neuronales artificiales para el análisis de fluidos de fondo de pozo. Allí se presentó y se detalló la aplicación de la tecnología ANN a DFA (Análisis de Fluidos en Fondo de

Pozo). Se demostró esto con un modelo ANN que utiliza las mediciones de las herramientas de DFA de la composición del fluido como entrada y produce predicciones de la relación gas / petróleo (GOR), una propiedad PVT clave utilizada en tiempo real para supervisar un trabajo de muestreo por un probador de la formación.

En el 2010 en Italia durante la conferencia de la SPE se dio a conocer los resultados del análisis de la base de datos del Sistema de Información de Recuperación Terciaria de Petróleo (TORIS) para yacimientos de petróleo y el Sistema de Información de Gas (GASIS) para yacimientos de gas. El análisis mostró que los parámetros geológicos y de ingeniería están correlacionados y ambos son importantes para la predicción del factor de recuperación. Más tarde, se utilizó una aproximación bayesiana en las puntuaciones principales de los predictores para la calibración de factor de recuperación. Así se llegó finalmente a la clasificación de yacimientos de petróleo y gas basados en el factor de recobro mediante el uso de software de minería de datos.

Nuevamente (February 2011 SPE Reservoir Evaluation & Engineering) en el 2011 en Teherán se mostraron los resultados del uso herramientas con redes neuronales artificiales para predecir propiedades PVT de crudo iraní. En este estudio, se puede observar la capacidad de la red neuronal de predecir las propiedades PVT utilizando composición molar porcentual, R_s , P_b , P_r , API y Tr como datos de entrada. Los resultados obtenidos muestran que el modelo es una red fiable para la predicción de propiedades PVT en los yacimientos. Los valores previstos de este modelo fueron la densidad del aceite y el FVF. Los resultados que se presentan indican una mayor precisión de la ANN en comparación a las correlaciones existentes.

En Trinidad y Tobago hacia el mismo año tuvo lugar la aplicación de un modelo de red neuronal para la predicción de la precipitación de asfaltenos (Abedini, A., Ashoori, S & Saki, Y. SPE 132760) Los resultados este modelo de ANN se compararon con los valores pronosticados utilizando algunas ecuaciones de escala como Rassamdana et al., Yu-Feng Hu et al. y Ashoori et al. Finalmente se concluyó que las ecuaciones de escala no eran lo suficientemente capaces de predecir y simular la cantidad de la precipitación de asfaltenos para todos los rangos de relación de dilución, el peso molecular del disolvente y la temperatura y sus resultados no fueron completamente satisfactorios. Por el contrario, el modelo ANN desarrollado tuvo mejor ajuste que las ecuaciones anteriores y adecuadamente predijo y simuló la precipitación de asfaltenos.

En el transcurso del 2012 en Abu Dabi se logró maximizar la exactitud de la ubicación de los pozos y de la producción en yacimientos no convencionales. Este estudio se guía a través de otros dos estudios de casos implementados en Bakken y Pinedale en los Estados Unidos, ejemplificando los flujos de trabajo de minería de

datos que mejoraron con éxito la producción de hidrocarburos. El Instituto SAS Inc. implementó un modelo para caracterizar un patrón en los datos de perforación y empalma patrones predeterminados de datos deductivamente (Holdaway, K. SPE 149784).

Finalmente experimentos llevados a cabo en conjunto entre el Centro de Investigaciones del Petróleo y el Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba, culminaron en la utilización de técnicas de minería de datos e inteligencia artificial para pronósticos yacimientos de petróleo, consistente en la inyección de tenso-activos de nueva producción, a un conjunto de 22 pozos de petróleo de un yacimiento, con el objetivo de aumentar sus producciones. Los resultados de este proceso fueron representados en una Base de Conocimientos, que junto con las máquinas de inferencia de un sistema denominado HAries, permitió la construcción de un sistema capaz de hacer el pronóstico deseado y además sugerir la tecnología más apropiada en cada caso. El sistema se aplicó a diversos pozos y el resultado en todos los casos fue adecuado (Cruz, A. & Alonso, M.)

Comercial/Administrativo

La toma de decisiones gerenciales/administrativas se hace luego de la examinación exhaustiva de información, es por esto que la calidad y confiabilidad de la misma ha de ser bastante alta. Para lograr lo anterior se hace Monitoreo de Calidad de la Información DQM, para esto se utiliza el Diseño Para Seis Sigma (DFSS), que da valores de 1-6 para la calidad del producto, en este caso la información. La aplicación de esta herramienta contribuye a la disminución sustancial de los errores y la baja calidad de los datos (Heggelund, D. & Andersen, V. SPE 116900)

Integrando el subsuelo y el comercio, en Canadá transcurriendo el año 2012 (Schulze, J., Walker, J. & Burkholder, K. SPE 162883) esta interconexión brindó mejores resultados en la toma de decisiones financieras al tener a la mano una confiable información acerca de las reservas reales de un simulador confiable, en este caso se utilizó el software estadístico Montecarlo y un árbol de análisis de decisiones.

En el 2005 el empleo de algoritmos también estaba presente en esta área en Canadá (Petroleum Society 2009-137), como es el caso del algoritmo TANE y su breve metodología en la minería con dependencias funcionales y aproximadas en grandes conjuntos de datos; ilustra el método para detectar problemas de calidad de datos utilizando el algoritmo TANE por un conjunto de datos del perfil de inyección.

Últimamente se ha dado mucho de qué hablar acerca del almacenamiento subterráneo de petróleo y gas. Y cabe destacar que no es algo nuevo, ya que en el 2008 ya se pensaba en esto, allí surgió por ejemplo la tecnología de pozos inteligentes en el almacenamiento subterráneo de gas. Los pozos inteligentes son ideales para las instalaciones

de almacenamiento subterráneo de gas. Las propiedades de las formaciones ya han sido determinadas; la capacidad de almacenamiento y la capacidad de producción pueden ser modeladas; y las herramientas analíticas pueden rastrear las tendencias de producción históricas. Estas tecnologías proveen sistemas de almacenamiento y suministro eficientes y económicamente efectivos, lo que ayuda a asegurar la posición del gas natural como fuente de energía confiable y sostenible a largo plazo (Brown, K. Oilfield Review Summer 2008).

Conclusiones

Las tecnologías AIPA han estado presente en la industria del petróleo y gas durante las últimas décadas agregando valor a las operaciones y ofreciendo soluciones para cada desafío en particular.

Como resultado del análisis estadístico realizado a las encuestas practicadas a un amplio grupo de profesionales y académicos vinculados a diversas operaciones de exploración, producción y empresas de servicios, es posible concluir que la minería de datos y las redes neuronales son las tecnologías de AIPA más populares utilizadas en la industria.

Al comparar los análisis de las encuestas podemos concluir que el nivel de percepción de la literatura disponible y el conocimiento público de las tecnologías de la AIPA es generalmente bajo, a pesar de ello no se percibe por igual entre los diferentes roles, títulos o cargos, ya que aproximadamente solo el 50% de los encuestados declaró que estaban familiarizados de alguna manera en la aplicación de la automatización del flujo de trabajo, control automático de procesos, razonamiento basado en reglas de casos, la minería de datos, modelos proxy y entornos virtuales.

Al consultar todas y cada una de las tecnologías AIPA, se puede concluir que en un futuro no muy lejano están llamadas a ser la base de todo proceso, ya que además de procesar información permiten tomar decisiones en tiempo real, lo que significa una automatización de procesos con un alto nivel de confianza.

Se ha podido comprobar que las tecnologías AIPA durante las últimas dos décadas han aumentado de manera exponencial su presencia en la solución de problemas y superación de retos operacionales en la industria petrolera en todas las áreas.

A pesar de que el termino AIPA no es muy conocido entre los ingenieros docentes y los estudiantes de la Universidad Surcolombiana, el conocimiento o al menos la mención de tecnologías específicas tiene un mayor porcentaje positivo.

Perforación y producción son las áreas en la que los estudiantes estarían interesados en enfocarse en un futuro próximo, lo cual hace aún más probable que se encuentren y tengan que desarrollar sus funciones con tecnologías AIPA.

En ninguna de las fuentes bibliográficas consultadas fue posible encontrar registros o documentos que evidencien la aplicación de las tecnologías AIPA en Colombia, lo cual hace indagar sobre las posibles causas de ello.

Recomendaciones

Luego de realizar los correspondientes análisis a la información recopilada y a los resultados de la estadística de las encuestas, se recomienda:

Considerar la búsqueda de personal o entes capacitados (proveedores, analistas, etc.) para que brinden un conocimiento mucho más profundo de estas tecnologías a los ingenieros docentes de la Universidad Surcolombiana, para que así pueda reproducirse dicho conocimiento a los alumnos y tengan una mayor cobertura y nivel académico.

Institucionalizar un curso que haga parte del currículo del Programa de Ingeniería de Petróleos o en su defecto un curso electivo de tecnología AIPA que permita el desarrollo intelectual en esta área del conocimiento.

Generar espacios para que el estudiante conozca los principios de la tecnología AIPA y estimular su aplicación en el desarrollo de cada uno de los cursos específicos de la carrera (Perforación, producción, crudos, geología, yacimientos, etc.)

Incentivar a docentes y estudiantes la creación y desarrollo de tecnologías similares para así generar nuevas opciones para iniciar investigación.

Aumentar por parte de las compañías que operan en Colombia la publicación de resultados que han tenido estas tecnologías, no es posible pensar que ninguna tecnología de las mencionadas en el presente documento hayan tenido presencia en el territorio, por lo cual se hace un llamado a que dicha información sea pública.

Crear una base de datos en la cual todas estas tecnologías estén presentes, con detalles en cuanto a su eficiencia, registros de aplicaciones en cada uno de los campos, actualizaciones o mejoras, etc., para así poder tener al alcance una guía rápida y de fácil acceso al momento de considerar y buscar una tecnología de estas.

Lista de referencias

- Abedini, A., Ashoori, S., & Saki, Y. (2010, January 1). Application of Neural Network Model for Prediction of Asphaltene Precipitation. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/132760-MS
- Badar, M. H. (2011, January 1). Application of Advanced Volume Interpretation (AVI) Workflows to Improve Data Quality for Rapid Interpretation. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/149055-MS
- De Jonge, G., Stundner, M., & Zangl, G. (2003, January 1). Automated Reservoir Surveillance through Data Mining Software. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/83974-MS
- Deng, Y., Chen, Q., & Wang, J. (2000, January 1). The Artificial Neural Network Method of Well-Test Interpretation Model Identification and Parameter Estimation. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/64652-MS
- Denney, D. (2004, November 1). Data Mining for Zonal Allocation and Increased Production in Kern River. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/1104-0069-JPT
- El-Sebakhy, E. A., Sheltami, T., Al-Bokhitan, S. Y., Shaaban, Y., Raharja, P. D., & Khaeruzzaman, Y. (2007, January 1). Support Vector Machines Framework for Predicting the PVT Properties of Crude Oil Systems. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/105698-MS
- Finol, J., & Buitrago, S. (2002, January 1). Model Identification with Fuzzy-Optimisation Techniques in Geological Data Mining. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/78340-MS
- Gu, P., Zheng, W., & Revie, R. W. (2007, January 1). Intelligent Pipeline Monitoring System. NACE International.
- Heggelund, D. G., & Andresen, V. (2008, January 1). Productization of Data. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/116900-MS
- Heslop, K., Karst, J., Schmitt, D., & Prensky, S. (1999, January 1). Log Ascii Standard (LAS) Version 3.0. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/56784-MS
- Holdaway, K. R. (2012, January 1). Maximize Placement of Wells and Production in Unconventional Reservoirs: Part 2. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/149787-MS
- Holdaway, K. R. (2012, January 1). Maximize the placement of wells and production in unconventional reservoirs:Part 1. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/149784-MS
- Lafollette, R., Holcomb, W. D., & Aragon, J. (2012, January 1). Practical Data Mining: Analysis of Barnett Shale Production Results With Emphasis on Well Completion and Fracture Stimulation. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/152531-MS
- Liu, S., Raghavendra, C. S., Liu, Y., Yao, K.-T., Balogun, O., Olabinjo, L., ... Ershaghi, I. (2011, January 1). Automatic Early Fault Detection for Rod Pump Systems. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/146038-MS
- Mathis, W., & Thonhauser, G. (2007, January 1). Mastering Real-Time Data Quality Control - How to Measure and Manage the Quality of (Rig) Sensor Data. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/107567-MS
- Mohaghegh, S. D., Popa, A., Gaskari, R., Ameri, S., & Wolhart, S. L. (2002, January 1). Identification of Successful Practices in Hydraulic Fracturing Using Intelligent Data Mining Tools; Application to the Codell Formation in the DJ -Basin. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/77597-MS
- Osman, E. A., & Aggour, M. A. (2003, January 1). Determination of Drilling Mud Density Change with Pressure and Temperature Made Simple and Accurate by ANN. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/81422-MS

- Osman, E.-S. A., & Al-Marhoun, M. A. (2005, January 1). Artificial Neural Networks Models for Predicting PVT Properties of Oil Field Brines. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/93765-MS
- Popielski, A. C., Heidari, Z., & Torres-Verdin, C. (2012, January 1). Rock Classification from Conventional Well Logs in Hydrocarbon-Bearing Shale. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/159255-MS
- Rabiei, M., Gupta, R., Cheong, Y. P., & Sanchez Soto, G. A. (2010, January 1). Transforming Data into Knowledge Using Data Mining Techniques: Application in Excess Water Production Problem Diagnosis in Oil Wells. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/133929-MS
- Schulze, J., Walker, J., & Burkholder, K. (2012, January 1). Integrating the Subsurface and the Commercial: A New Look at Monte Carlo and Decision Tree Analysis. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/162883-MS
- Sharma, A., Srinivasan, S., & Lake, L. W. (2010, January 1). Classification of Oil and Gas Reservoirs Based on Recovery Factor: A Data-Mining Approach. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/130257-MS
- Singh, P. M., Al-Hassan, S., Stalder, S., & Fonder, G. J. (2000, January 1). Fireside Corrosion in Kraft Recovery Boilers Lower Furnace. NACE International.
- Teh, W., Willhite, G. P., & Doveton, J. H. (2012, January 1). Improved Reservoir Characterization in the Ogallah Field using Petrophysical Classifiers within Electrofacies. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/154341-MS
- Thrasher, T. S. (1991, January 1). Computer File Format Standards. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/20596-PA
- Zaki, K. S., Abou-Sayed, A. S., & Roehl, E. A. (2005, January 1). Assessment of Produced Water Injection Performance during Waterflooding of a North Sea Field Using Data Mining Techniques. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/95328-MS
- Zangl, G., & Oberwinkler, C. P. (2004, January 1). Predictive Data Mining Techniques for Production Optimization. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/90372-MS

Apéndice A: Preguntas a los profesionales en la encuesta global

Which are the most common information management and analysis challenges in your petroleum asset? *Possible answers:* Data management and integration, large volumes of data, lack of physical models to describe problems, event recognition and diagnosis, poor ability to predict performance, lots of manually driven tasks, lack of integration between work processes, inability to maintain or update models, unstable operations (unstable production), lack of visibility about asset's performance, large computation and simulation times, unexplained large production losses, inability to focus on high value added tasks, high people demand to survey and maintain, and other (open answers).

Are you personally familiar with AIPA applications? Which ones? (If the answer to this question is all "Never heard about it", then go to question 9.) *Possible answers:* Data mining, rule-based case reasoning, expert systems, neural networks, genetic algorithms, fuzzy logic, machine learning, intelligent agents, automatic process control, proxy models, workflow automation, virtual environments, and other (open).

What are the most common AIPA applications and solutions in your company or work area? *Possible answers:* Never used, have used once via pilot only, have used more than once, have used it frequently; and fully engaged, develop applications in this area.

In which areas have you applied or you know that there have been AIPA technologies applied to solve problems in your industry? *Possible answers:* Data management and integration, filtering/cleansing data, virtual metering, events/patterns recognition and diagnosis, fault detection, process control, production optimization, production management, surface facility modeling and simulation, reservoir modeling and simulation, coupled hydraulic fracture/reservoir modeling, information search, personnel training, and other.

What is the perceived value or impact in each of these applications? (The technologies the person chose in question 2 were listed.) *Possible answers:* Value level answers could be one of the following: not known or never measured, none or very low value perceived, medium value—fit for purpose value, and high value application or technology. Impacted area possible answers were: revenue, reserves, production, cost, and safety.

What is the level knowledge available for each technology? (The technologies the person chose in question 2 were listed) *Possible answers:* No knowledge available, information available in limited sources, enough information available in many sources.

Which technology has seen some evolution/change/development in the last years? *Possible answers:* Not aware or cannot provide an opinion; no evolution in the last years; some evolution, change, and development in the last years; a lot of evolution and development in the last years.

What is the perceived maturity for each technology? *Possible answers:* Infant: very early stage of development; potential: the potential has been demonstrated; Frustration.

Which commercially available products for the E&P industry based on AIPA do you know (if any)? *Possible answers:* Commercial application: (App1, App2, App3) Knowledge about commercial application: just heard about it; have used it once or more; fully engaged, develop applications in this area. Potential to add value: Cannot provide an opinion yet, none or low potential to add value to oil and gas problems, and high potential to add value.

Do you know success cases of the application of AI solutions in your enterprise? *Possible answers:* Open answer.

Which far market technologies must be considered as game changers in AIPA? *Possible answers:* Open answer.

Which competing technologies may provide solutions to the information management and analysis challenges in your petroleum asset? *Possible answers:* Open answer.

Open comments: Is there any other topic you would like to discuss? *Possible answers:* Open answer.

What is your job classification? *Possible answers:* Executive, manager, engineer, geologist or geophysicist, superintendent or foreman, educator, consultant, student, and other

What is your age group? *Possible answers:* < 26, 26–35, 36–45, 46–55, 56–65, and 65+

How many years have you worked in the E&P industry? *Possible answers:* 0–4, 5–9, 10–14, 15–19, 20–25, 26+

What is your primary area of technical interest? *Possible answers:* Drilling and completions; health, safety, security, environment, and social responsibility; management and information; production and operations; projects, facilities, and construction; and reservoir description and dynamics.

What category of company do you work for? *Possible answers:* National Oil Company, independent oil company, international oil company, integrated (major) oil company, technology/service provider, and consultancy

What is your company's annual sales volume? *Possible answers:* Above USD 1 billion, USD 500 million to 1 billion, USD 250 million to 499 million, USD 100 million to 249 million, USD 50 million to 99 million, USD 25 million to 49 million, and below USD 25 million.

In which geographic region do you work? *Possible answers:* Sub-Saharan Africa, North Africa, Asia/Asia Pacific, Australia/New Zealand, Europe/Russia/Caspian, Middle East, North America, and South America/Caribbean/Mexico.

Apéndice B: Información Demográfica de la Encuesta Global

TABLE C-1: JOB TITLE			
Response	Chart	Frequency	Count
Executive		6.7%	20
Manager		18.7%	56
Engineer		49.3%	148
Geologist or geophysicist		5.7%	17
Superintendent or foreman		0.0%	0
Educator		4.0%	12
Consultant		10.3%	31
Student		2.0%	6
Other		3.3%	10
Valid Responses			300

TABLE C-2: AGE			
Response	Chart	Frequency	Count
< 26		4.3%	13
26–35		21.0%	63
36–45		20.7%	62
46–55		22.7%	68
56–65		23.3%	70
65+		8.0%	24
Valid Responses			300

TABLE C-3: YEARS OF EXPERIENCE			
Response	Chart	Frequency	Count
0–4		13.3%	40
5–9		15.0%	45
10–14		11.0%	33
15–19		9.0%	27
20–25		11.3%	34
26+		40.3%	121
Valid Responses			300

TABLE C-4: PRIMARY AREA OF TECHNICAL INTEREST			
Response	Chart	Frequency	Count
Drilling and Completions		8.3%	25
Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility		0.7%	2
Management and Information		8.0%	24
Production and Operations		33.3%	100
Projects, Facilities, and Construction		3.0%	9
Reservoir Description and Dynamics		46.7%	140
Valid Responses			300

TABLE C-5: COMPANY CATEGORY			
Response	Chart	Frequency	Count
National Oil Company		12.7%	38
Independent Oil Company		21.7%	65
International Oil Company		9.7%	29
Integrated (Major) Oil Company		13.7%	41
Technology/Service Provider		28.7%	86
Consultancy		13.7%	41
Valid Responses			300

TABLE C-6: COMPANY ANNUAL SALES VOLUME			
Response	Chart	Frequency	Count
Above USD 1 billion		49.3%	148
USD 500 million–1 billion		10.3%	31
USD 250 million–499 million		4.3%	13
USD 100 million–249 million		7.7%	23
USD 50 million–99 million		3.3%	10
USD 25 million–49 million		6.7%	20
Below USD 25 million		18.3%	55
Valid Responses			300

Apéndice C: Encuestas Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana

INGENIERO/A	1										2										3										4										5																													
	Sí	No	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d																												
1																																																																						
2																																																																						
3																																																																						
4																																																																						
5																																																																						
6																																																																						
7																																																																						
8																																																																						
9																																																																						
10																																																																						

¿Tiene algún conocimiento de AIPA?	1										2										3										4										5																										
Sí	No	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d																										
1																																																																			

TOTAL	4	6	2	1	0	0	0	0	0	3	2	2	2	2	1	0	2	1	0	1	3	0	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	3	2
PORCENTAJE	40%	60%	20%	10%	0%	0%	40%	0%	0%	30%	20%	20%	20%	20%	10%	0%	20%	10%	0%	10%	30%	0%	30%	10%	0%	10%	10%	0%	10%	10%	0%	10%	0%	10%	0%	40%	10%	30%	20%	20%		

Prácticas laborales
Bases Teóricas
Inglés
Manejo de Softwares Comerciales
Disminución de la Productividad
Prolongados Tiempos de Simulación
Operaciones Inestables
Falta de Integración Entre Procesos
Falta de Modelamientos Físicos
Tareas Manuales
Predicción de Sucesos
Reconocimiento y Diagnóstico de Problemas
Gran Volumen de Datos
Integración de la Información
Otra (Ciencias Básicas)
Proyectos
HSEQ
Geofísica y Geología
Yacimientos
Producción, Manejo y Transporte
Perforación y Completamiento
Ninguna
Otra
Razonamiento Basado en Casos
Algoritmos Genéticos
Automatización de Procesos
Sistema Experto
Lógica Difusa
Red Neuronal Artificial
Minería de Datos

