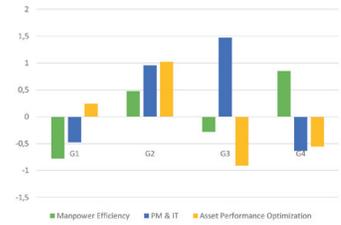


# Análisis de los factores clave para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria de oil&gas en América Latina

## Analysis of key factors to improve maintenance management in the oil & gas industry in Latin America



Luis Amendola<sup>1</sup>, Miguel-Ángel Artacho<sup>1</sup> y Tibaïre Depool<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de València. Camino de Vera, s/n - 46022 Valencia (España)

<sup>2</sup> PMM Institute for Learning. Calle Hermanos Machado, 13 - 46019 Valencia (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8178> | Recibido: 13/10/2016 • Evaluado: 17/10/2016 • Aceptado: 06/02/2017

### ABSTRACT

- This article analyses the application of maintenance management (MM) in the oil and gas industry in Latin America. We conducted a web-based expert panel to develop a set of consensus activities that managers consider when managing maintenance projects. A heterogeneous group of 96 professionals related to maintenance tasks was selected to represent all the relevant perspectives (top management; maintenance; production; quality; logistics; and finance). Some 396 maintenance practitioners took part in a second online survey aimed at establishing the key MM factors that summarised the correlations among the previously defined maintenance activities. Moreover, an equation to discover the influence that these factors have in MM improvement was obtained. Finally, maintenance practitioners were classified into groups with similar MM styles according to previously defined MM factors. Results showed that three latent factors encompassed all MM activities: manpower efficiency; project management and IT; and asset performance optimization. Project management and IT was the most influential factor in MM improvement. Four groups were identified as representing different MM styles. The MM framework outlined in an inductive manner enables maintenance practitioners in the oil and gas industry to find out their strengths and weaknesses and plan their maintenance strategy accordingly. Moreover, the outlined procedure can be generalized for use in any industry.
- Keywords:** maintenance management; manpower; project management & IT; asset performance optimization.

### RESUMEN

En este artículo se analiza la gestión de mantenimiento (GM) en la industria del petróleo y gas en América Latina. Se realizó un panel de expertos online para obtener de forma consensuada el conjunto de actividades que se consideran en la gestión de proyectos de mantenimiento. Para ello se seleccionó un grupo heterogéneo de 96 profesionales relacionados con las tareas de mantenimiento para tener representados todos los puntos de vista relevantes (alta dirección, mantenimiento, producción, calidad, logística y finanzas). Después, 396 profesionales involucrados en el mantenimiento participaron en una segunda encuesta online destinada a establecer desde el punto de vista de la industria los factores clave de la GM que resumen las correlaciones entre las actividades de mantenimiento previamente definidas. Por otra parte, se propone una ecuación para descubrir la influencia de

estos factores en la mejora real de la GM. Por último, los profesionales de mantenimiento se clasificaron en grupos con estilos de GM similares según los factores previamente definidos. Los resultados mostraron que existen tres factores latentes que abarcan todas las actividades de la GM: eficiencia de la mano de obra; gestión de proyectos y TI y la optimización del rendimiento de los activos. La gestión de proyectos es el factor que más influye en la mejora real de la GM. Finalmente, se identificaron cuatro grupos como representantes de los diferentes estilos de la GM. El marco esbozado y la ecuación aportada de manera inductiva permiten a los profesionales del mantenimiento en la industria del petróleo y el gas conocer sus fortalezas y debilidades y planificar su estrategia de mantenimiento en consecuencia. Por otra parte, el procedimiento descrito se puede generalizar para su uso en cualquier otra industria.

**Palabras Clave:** Gestión del Mantenimiento, Mano de Obra, Gestión de Proyectos y TI, Gestión de Activos.

### 1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento se ve generalmente en las organizaciones como un coste necesario que debe ser minimizado. Los costes de mantenimiento pueden representar hasta un 40% del presupuesto total del departamento de operaciones [1]. Por lo tanto, el mantenimiento ha sido considerado tradicionalmente como un coste más o un mal necesario que normalmente se relega a un nivel secundario y rara vez se considera como una competencia empresarial básica [2, 3]. Sin embargo, a medida que se desarrollaba la actual crisis económica, las empresas se enfocaron más que nunca en mantener la competitividad cuidando sus costes, calidad de servicio y puntualidad en las entregas. Así, en un entorno empresarial cada vez más competitivo, el mantenimiento desempeña un papel importante ya que puede proporcionar ventajas estratégicas en el mercado de múltiples formas, como el aumento de la capacidad productiva, la reducción de costes y la eliminación de desperdicios [4]. Además, la creciente adopción de los procesos JIT, TQM, fabricación flexible, fabricación ágil y flexible junto con el crecimiento de la mecanización y la automatización hacen que la fiabilidad y la disponibilidad sean factores clave a la hora de garantizar una producción ininterrumpida. Este hecho se ha convertido en una cuestión importante cuando la crisis mundial ha obligado a las empresas a reducir al máximo sus costes. En este nuevo escenario, es crucial que el mantenimiento se convierta en una actividad a considerar de cara a controlar la cuenta de resultados,

el coste, la entrega flexible y la satisfacción del cliente, convirtiéndose así en una actividad proactiva centrada en el incremento de beneficios que debe integrarse dentro de la estrategia corporativa. Por lo tanto, la implementación de modelos eficientes de gestión del mantenimiento (GM) es crucial para que las organizaciones aseguren la entrega puntual de bienes y servicios de acuerdo con requisitos relacionados con la seguridad del personal, la sociedad y el medio ambiente.

Sin embargo, es difícil encontrar la manera correcta de concebir y desarrollar modelos de GM. A pesar de la existencia de una considerable cantidad de trabajos teóricos y marcos generales [2] [5-9], el mantenimiento es una disciplina compleja que entraña muchas dificultades. Muchos autores han encontrado una falta de modelos de GM eficaces con una metodología operativa de aplicación generalizada [9, 10]. Como las aplicaciones teóricas con enfoques deductivos son difíciles de implementar, parece necesario abordar la mejora de la GM con un enfoque inductivo. Este artículo aborda la mejora de la GM como parte de un proceso concebido de "abajo hacia arriba", y cuenta con la participación de profesionales del mantenimiento que se enfrentan a las dificultades que la aplicación de la GM impone diariamente en sus puestos de trabajo (yendo desde la falta de apoyo de la alta dirección a la falta de tiempo para registrar, analizar y gestionar toda la información de cara a controlar sus plantas y procesos). En este trabajo se analizan las aplicaciones de la GM en la industria de *oil&gas* en Latinoamérica desde el punto de vista de profesionales relacionados con las tareas de mantenimiento (alta gerencia, mantenimiento, producción, calidad, logística y finanzas).

El objetivo de este estudio es explorar la brecha significativa que todavía existe en la GM entre la teoría y su aplicación práctica [11]. En este sentido, los objetivos principales del estudio son conocer el punto de vista del personal de mantenimiento (planificadores, supervisores y operadores), establecer las actividades subyacentes de la GM consideradas en la práctica, correlacionar estas actividades y reducirlas a un pequeño número de factores que definan la GM. La hipótesis inicial es que los factores clave de la GM resultantes definirán un marco de GM que diferirá de los marcos previos diseñados usando enfoques deductivos. Además, este trabajo intenta estimar la mejora de la GM como un reflejo del nivel de desempeño alcanzado en los factores clave de la GM, así como clasificar a los profesionales de mantenimiento en grupos de acuerdo a su desempeño alcanzado en los mencionados factores. La idea detrás de esto es que el rendimiento alcanzado en los factores clave de la GM entre los profesionales permitirá clasificarlos en diferentes grupos con patrones de gestión comunes y diferentes a los de los otros grupos. Estos patrones de GM podrían describir diferentes estilos de gestión, ofrecer un "panorama general" de la realidad organizacional del mantenimiento en esta industria y permitir a expertos y académicos establecer las principales líneas de mejora que deberían afrontarse en futuros proyectos.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en tres fases:

1. Identificación de los factores clave para evaluar la GM en la práctica.
2. Evaluación de la relevancia de los factores clave identificados en la mejora de la GM.
3. Clasificación de los profesionales de mantenimiento en grupos de acuerdo con su nivel de desempeño actual en los factores clave de la GM.

### 2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES CLAVE PARA EVALUAR LA GM EN LA PRÁCTICA

Se realizó un panel de expertos de ámbito internacional a través de Internet para conocer y consensuar el conjunto de actividades que los profesionales vinculados a la GM consideran normalmente para gestionar sus proyectos de mantenimiento industrial. Se seleccionó un grupo heterogéneo de profesionales que realizaran tareas vinculadas al mantenimiento representando seis áreas funcionales distintas: alta dirección, mantenimiento, producción, calidad, logística y finanzas.

El panel fue seleccionado de manera que se pudiera recoger la opinión de los panelistas asegurando una participación equilibrada entre países. Un total de 96 personas (10 de alta gerencia, 34 de mantenimiento, 17 de producción, 12 de calidad, 11 de logística y 12 de finanzas) acordaron participar provenientes de Venezuela (8%), México (16%), Colombia (19%), Ecuador (15%), Brasil (16%), Perú (17%) y Bolivia (10%).

El panel se desarrolló de forma iterativa administrando dos rondas de opinión realizadas entre noviembre de 2014 y enero de 2015. En la primera ronda, se pidió a los panelistas que proporcionaran el conjunto de actividades que realizan o consideran importantes al gestionar tareas de mantenimiento. Se envió un correo electrónico personalizado a cada miembro del panel con un enlace URL a la encuesta. La segunda ronda se dedicó a la clasificación en grupos de las actividades que surgieron en la primera ronda según las similitudes que compartían. Los participantes debatieron la clasificación y luego seleccionaron por consenso las actividades más adecuadas para medir la GM. Los ítems resultantes fueron las actividades clave resultantes del panel realizado en dos rondas en el que cada una de ellas estuvo abierta durante tres semanas.

Una vez que se identificaron las actividades clave, se diseñó una encuesta *online* para establecer el nivel de desempeño alcanzado en cada una de ellas por los planificadores de mantenimiento, los supervisores y los operadores. Unas 36 plantas industriales pertenecientes a 11 grandes corporaciones aceptaron participar en el estudio. Específicamente, sólo se analizaron las divisiones dedicadas a la producción de petróleo, refinación y gas-GNL. La mayoría de las empresas operan tanto en producción como en refinación y gas, como se muestra en la Fig. 1. Unos 396 profesionales involucrados en tareas de mantenimiento (19% planificadores, 29% supervisores y 52% operadores) de plantas de petróleo y gas ubicadas en Venezuela (17%), México (18%), Colombia (16%), %, Brasil (15%), Perú (13%) y Bolivia (9%) participaron en el estudio. Todos los participantes tenían un mínimo de cinco años de experiencia y fueron seleccionados al azar a partir de las bases de datos de las empresas que participaron en el estudio entre marzo y septiembre de 2015.

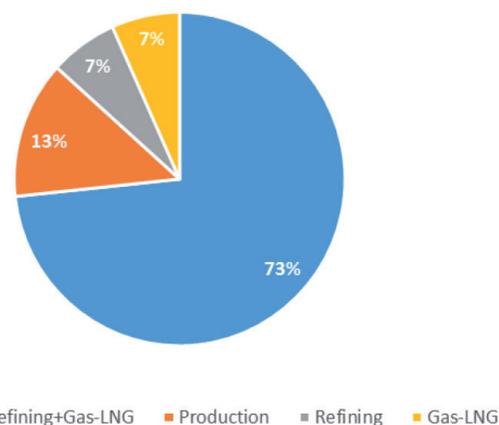


Figura 1: Distribución de las empresas dedicadas a la producción de petróleo, refinación y gas-GNL

Los profesionales completaron un cuestionario en línea indicando su nivel de desempeño en cada una de las actividades de mantenimiento detectadas en el panel previo, como por ejemplo "Determinar el tamaño correcto y la composición del equipo de mantenimiento", usando una escala de Likert de cinco niveles, desde Excepcional hasta inaceptable (5 = excepcional, 4 = supera las expectativas, 3 = competente, 2 = necesita mejorar, 1 = inaceptable). El cuestionario también incluyó una cuestión acerca de las mejoras contrastadas en la GM en los últimos tres años (¿Ha experimentado su planta una mejora demostrada en mantenimiento durante los últimos tres años?) con "Sí" o "No" como posibles respuestas.

El tratamiento de datos consistió en un análisis factorial de componentes principales con rotación Varimax para identificar un conjunto de factores independientes que explicaran la máxima varianza (midiendo el nivel de desempeño en la GM según las actividades resultantes del panel internacional de expertos). Los componentes principales fueron considerados como los factores clave a ser considerados por los profesionales del mantenimiento al evaluar la GM en la práctica.

Las condiciones establecidas para el análisis factorial fueron:

1. (Kaiser-Meyer-Olkin Test) KMO >0.8
2. Autovalores mayores que la unidad después de la rotación, es decir, que cualquier factor explique más varianza que una sola variable.
3. Comunalidad de todas las variables superior a 0,6, lo que significa que la información perdida al trabajar con factores no debe ser mayor al 40% para cualquier variable.

4. Factores resultantes fácilmente interpretables como dimensiones de la GM.

## 2.2. EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA DE LOS FACTORES CLAVE IDENTIFICADOS EN LA MEJORA DE LA GM

Se analizó la influencia de los factores clave de la GM identificados en la Sección 2.1 en las respuestas de los profesionales de mantenimiento acerca de la mejora contrastada de la GM en sus plantas en los últimos tres años.

Se realizó un análisis de regresión logística binaria con la mejora del mantenimiento como variable dependiente y las puntuaciones de los factores clave de la GM como variables independientes. Este procedimiento estadístico se utiliza ampliamente para desarrollar ecuaciones que modelan la probabilidad de uno de dos posibles resultados utilizando una función de un conjunto de variables predictoras. Se utilizó el procedimiento hacia adelante LR. El test de Hosmer-Lemeshow y el  $R^2$  de Nagelkerke se utilizaron para evaluar la bondad del ajuste y el porcentaje de varianza explicada por la ecuación resultante, respectivamente. Finalmente, se obtuvo la ecuación de probabilidad de no mejora del mantenimiento.

## 2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PROFESIONALES DE MANTENIMIENTO EN GRUPOS DE ACUERDO CON SU NIVEL DE DESEMPEÑO EN LOS FACTORES CLAVE DE LA GM

El objetivo de este análisis es clasificar a los profesionales de mantenimiento en grupos con patrones diferentes con respecto a los factores de la GM identificados en la Sección 2.1. Para ello,

Código	Actividad de Gestión del Mantenimiento	Nombre en el Estudio
A1	Programación conjunta del mantenimiento y la producción.	<i>Programación conjunta mantenimiento Et producción</i>
A2	Análisis de la inversión y adquisición de activos	<i>Inversión Et adquisición de activos</i>
A3	Lograr una efectiva integración y coordinación entre actores (operadores, ingenieros, gestores, proveedores y responsables de tareas de mantenimiento externalizadas) pertenecientes a áreas relacionadas con el mantenimiento (producción, logística, calidad y LCC, finanzas, RRHH, etc.)	<i>Coordinación personal involucrado en mantenimiento</i>
A4	Gestión de repuestos y materiales	<i>Gestión de inventario Et materiales</i>
A5	Formar y capacitar a los operadores en el mantenimiento diario (inspecciones, ajustes, lubricación, etc.)	<i>Formación del personal</i>
A6	Desarrollar protocolos (por ejemplo, recopilación de datos, mejora continua de la calidad, toma de decisiones) y organizar actividades para que la seguridad y la salud del personal, la propiedad, la infraestructura y el medio ambiente no se vean comprometidas	<i>Protocolos Et organización de actividades</i>
A7	Cálculo de la mano de obra necesaria para las actividades de mantenimiento	<i>Cálculo necesidad de mano de obra</i>
A8	Comunicación efectiva de desviaciones en el tiempo, presupuesto/coste, riesgo, calidad, atrasos y alcance de las actividades de mantenimiento	<i>Seguimiento del proyecto</i>
A9	Definición y uso de los indicadores correctos de rendimiento del mantenimiento (MPI) (basado en EN13306, EN13460 y EN15341)	<i>Definición de indicadores de Mantenimiento</i>
A10	Balancear costes de mantenimiento, reparación o renovación versus los beneficios y rendimientos técnicos	<i>Renovación de Activos</i>
A11	Medición de la capacidad y eficiencia de los activos	<i>Capacidad de Activos Et Eficiencia</i>
A12	Planificación de los recursos de mantenimiento mediante CMMS (Computerized MM System), MRO (Maintenance, Repair, and Overhaul), EAM (Enterprise Asset Management) o similares	<i>Planificación recursos de mantenimiento</i>
A13	Obtener el número y la composición adecuada del personal de mantenimiento	<i>Configuración equipo de mantenimiento</i>
A14	Obtener el número adecuado de planificadores de mantenimiento	<i>Número de planificadores</i>
A15	Lograr que los miembros del equipo de mantenimiento tengan la experiencia técnica necesaria	<i>Experiencia técnica del personal</i>
A16	Incrementar la rentabilidad y traducir el desempeño de mantenimiento en términos de impacto económico	<i>Rentabilidad Et impacto económico del mantenimiento</i>
A17	Uso de estándares de gestión de proyectos para la GM (ICB - International Project Management Association, 2006), APMBok (APM, 2006), Guía del PMBOK (PMI, 2013), estándares GAPPS (GAPPS, 2007), etc.	<i>Uso de estándares de gestión de proyectos</i>

Tabla 1: Actividades de Gestión de Mantenimiento (el nombre de la variable utilizado en el estudio se muestra en cursiva)

se realizó un análisis de conglomerados k-medias para identificar grupos homogéneos. Los criterios empleados para establecer esa solución fueron: el número máximo de iteraciones hasta alcanzar la convergencia se estableció en 10, el número de casos mínimos en cada grupo en la solución final deben ser al menos el 10% del total de casos, y los centros finales deben ser coherentes y fáciles de interpretar.

Cada grupo resultante se consideró como un estilo de GM resultante de los diferentes niveles de desempeño alcanzados en cada factor clave de la GM. El estilo de mantenimiento se describe de acuerdo a los valores medios de las variables en el centro del grupo. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 16.0.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. FACTORES CLAVE PARA EVALUAR LA GM EN LA PRÁCTICA

La tasa de respuesta del panel online fue superior al 84% en las dos rondas de trabajo. Los panelistas que participaron en dicho panel seleccionaron diecisiete actividades diferentes de la GM desde el punto de vista de la industria, véase la Tabla 1.

Como resultado del análisis factorial se obtuvo tres componentes principales que explican el 77,4% de la varianza total (ver Tabla 2).

Actividades de la GM	Componentes principales de GM		
	1	2	3
Experiencia técnica del personal	0,815		
Número de planificadores	0,778		
Configuración equipo de mantenimiento	0,741		
Cálculo necesidad de mano de obra	0,727		
Formación del personal	0,675		
Coordinación del personal involucrado en mantenimiento	0,597		
Planificación recursos de mantenimiento		0,834	
Programación conjunta mantenimiento & producción		0,813	
Seguimiento del proyecto		0,782	
Protocolos & organización de actividades		0,762	
Definición de indicadores de Mantenimiento		0,711	
Uso de estándares de gestión de proyectos		0,689	
Capacidad de Activos & Eficiencia			0,895
Inversión & adquisición de activos			0,866
Rentabilidad & impacto económico del mantenimiento			0,751
Renovación de Activos			0,687
Gestión de inventario & materiales			0,601
Varianza (%): 77.4	35,604	29,211	12,585

Tabla 2: Matriz de factores rotados (coeficientes inferiores a 0,5 se han eliminado para mayor claridad). La varianza total explicada (%) y la contribución de cada componente se muestra en la última fila

Los factores se describen a continuación analizando las actividades de mantenimiento que más se correlacionan ( $R^2$  entre corchetes) con los componentes como sigue:

**Factor 1: Mano de obra (MO).** Actividades relacionadas con la experiencia técnica del personal (0,81), el número de planificadores (0,78), la configuración del equipo de mantenimiento (0,74), el cálculo de la necesidad de mano de obra (0,73), la formación del personal (0,67) y la coordinación del personal de mantenimiento (0,60).

**Factor 2: Gestión de proyectos y TI (GP & TI).** Actividades relacionadas con la planificación de los recursos de mantenimiento (0,83), Programación conjunta del mantenimiento y la producción (0,81), seguimiento del proyecto (0,78), desarrollo de protocolos y organización de actividades (0,76), definición de indicadores de mantenimiento (0,71) y uso de estándares de la gestión de proyectos (0,69).

**Factor 3: Optimización del rendimiento de los activos (ORA).** Actividades relacionadas con la capacidad y eficiencia de los activos (0,89), la inversión y adquisición de activos (0,87), el impacto económico del mantenimiento y su rentabilidad (0,74), la renovación de activos (0,69) y la gestión de inventario y materiales (0,60).

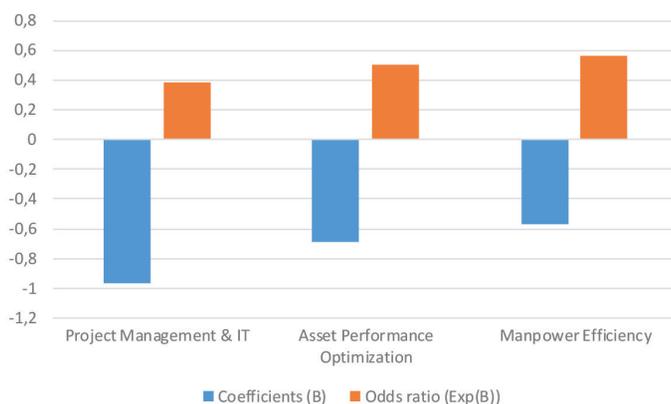


Figura 2. Efecto de los factores de la GM sobre la probabilidad de no mejora de la GM

#### 3.2. EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA DE LOS FACTORES CLAVE IDENTIFICADOS EN LA MEJORA DE LA GM

El análisis de regresión logística binaria produce un modelo en el cual los tres factores clave son estadísticamente significativos. La Fig. 2 muestra los coeficientes (B) así como los Odds ratio (Exp. B) para las variables significativas, siendo la Odds ratio el efecto constante de una variable independiente sobre la probabilidad de que no se produzca ninguna mejora de mantenimiento manteniendo constantes todas las demás variables independientes. El valor de la  $R^2$  de Nagelkerke es 0,68 y la prueba de Hosmer-Lemeshow no es estadísticamente significativa (mostrando ambas circunstancias un buen ajuste del modelo).

Los resultados se pueden ver en la ecuación (1):

$$\text{Prob. No Mejorar} = 1 / (1 + e^{(0.01 + 0.57 * \text{Mano Obra} + 0.97 * \text{GP \& TI} + 0.68 * \text{Optimización Rendimiento Activos})} \quad (1)$$

#### 3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PROFESIONALES DE MANTENIMIENTO EN GRUPOS SEGÚN SU ESTILO DE GM

El procedimiento de agrupación de casos K-medias identificó una solución válida para cuatro grupos. La Fig. 3 muestra los centros finales de los grupos. Estos grupos se interpretan como cuatro estilos diferentes de GM definidos de acuerdo a la importancia de cada variable. La Fig. 4 muestra el porcentaje de profesionales pertenecientes a cada grupo.

Los grupos finales representados según estilos de GM se pueden describir como sigue (ver Fig. 3):

**Grupo 1:** este grupo se refiere a los profesionales con los peores resultados en la eficiencia de la mano de obra y con altas puntuaciones negativas en los estándares de gestión de proyectos & TI. Sin embargo, este grupo realiza una optimización del rendimiento de sus activos aceptable.

- Grupo 2: los profesionales pertenecientes a este grupo son los mejores gerentes de mantenimiento, presentando altos estándares en los tres factores. Tienen el valor más alto para la optimización del rendimiento de activos, presentando también valores positivos para la gestión de proyectos & TI y la eficiencia de la mano de obra.
- Grupo 3: los profesionales de este grupo tienen los valores más altos de desempeño en gestión de proyectos & TI. Sin embargo, tienen valores negativos tanto en la eficiencia de la mano de obra como en la optimización del rendimiento de activos, alcanzando en este último factor el peor valor de todos los grupos.
- Grupo 4: los profesionales pertenecientes a este grupo son los mejores en la eficiencia de la mano de obra, pero el peor para la gestión de proyectos & TI, a la vez que muestran un valor negativo para la optimización del rendimiento de activos.

#### 4. DISCUSIÓN

Este trabajo ha convertido el conocimiento tácito de profesionales relacionados con el mantenimiento en conocimiento explícito. Este hecho es notable, ya que la cantidad de conocimiento tácito de GM en la industria es elevado, lo que lleva a ineficiencias, falta de fiabilidad y pérdidas económicas [12].

El panel web para establecer las prácticas de GM tuvo una tasa de respuesta del 84%, superior al 70% establecido como valor umbral aceptable para mantener el rigor y evitar sesgos y falta de generalización [13]. Con respecto al cuestionario en línea, el número de encuestados alcanzado aumentó ligeramente el error de muestreo inicialmente previsto (5%). Utilizando la fórmula de

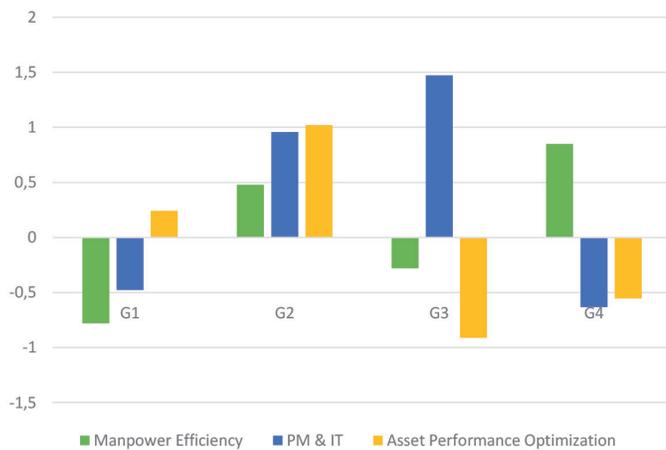


Figura 3: Valores de los centros finales de los factores clave de GM en cada grupo

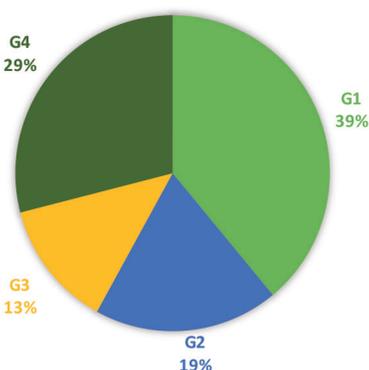


Figura 4. Porcentaje de profesionales pertenecientes a cada grupo

Bromaghin para la estimación de intervalos de probabilidades multinomiales [14], con  $n = 396$ ,  $k = 5$ ,  $\sigma = 1,96$  y el mismo valor de probabilidad para los distintos niveles de respuesta, el error final de muestreo es de 6,4%. Sin embargo, la muestra final y la distribución de los profesionales de mantenimiento entre países permitieron realizar el tratamiento estadístico de los datos previsto, completando los objetivos de investigación con significación estadística en todos los análisis realizados.

Los principales factores de GM identificados definen un marco nuevo. Como resultado, la hipótesis de partida puede ser validada, porque, hasta donde los autores conocen, los factores de GM derivados de la práctica difieren de los previamente establecidos dentro de otros marcos teóricos. Sólo la eficiencia de la mano de obra se había considerado como un pilar en el marco teórico de Crespo y Gupta [7]. Sin embargo, GP & TI y ORA también emergen en este estudio como factores clave para mejorar la GM en la práctica. GP & TI incluye prácticas estrechamente relacionadas con la GM, ya que la implementación de la GM se realiza a través de la planificación del mantenimiento, control y supervisión y de métodos relacionados con aspectos económicos de la organización [15]. En general, podría decirse que prácticas como la planificación, el control y la supervisión aparecen en la mayoría de los marcos teóricos de mantenimiento existentes en la literatura [5, 6, 16]. Sin embargo, excluyendo los trabajos de Duffuaa et al. [17] y Amendola et al. [18] que subrayan la administración de proyectos como una de las principales actividades para conseguir un mantenimiento funcional y productivo, la GP en sí misma no ha recibido una atención especial. Por último, la ORA puede definirse como la gestión de todos los activos pertenecientes a una empresa para maximizar el retorno de la inversión realizada en los mismos [2]. En los últimos años, muchos autores han intentado evaluar el impacto económico del mantenimiento en la rentabilidad del negocio, demostrando que el mantenimiento se puede considerar como una fuente de beneficios [7,9,19,20]. Además, la familia de estándares europeos ISO 55000 publicada en 2014 ha consolidado la gestión de activos como un campo emergente cuya importancia no deja de crecer. Sin embargo, la gestión de activos no había aparecido como un factor en los marcos teóricos anteriores.

En cualquier caso, los factores resultantes están en línea con algunos estudios previos que subrayan su importancia en la mejora de la GM. Ahmed [14] mostró que el aumento de la eficiencia de mano de obra se tradujo en una mejora de las operaciones y el ahorro de costes en la Organización de Operaciones Petroleras del Área Sur en el período de 1983 a 2004. Papavinasam [15] señaló que la mano de obra tiene todavía mucho margen de mejora en el sector de oil & gas, ya que los operadores cualificados están muy cerca de la jubilación y cada vez entra menos personal. Por otro lado, muchos expertos [21] coinciden en que escenarios exigentes y altamente competitivos favorecen la introducción de la GP como metodología formal que va más allá de una aplicación específica y que, para alcanzar los objetivos estratégicos, se convierte en una capacidad organizativa que involucra a toda la organización. En este sentido, Bardhan et al. [22] afirmaron que las soluciones de TI son cruciales para compartir datos entre los procesos, mitigar el efecto negativo de la dispersión del equipo en el rendimiento del proyecto y contribuir a una mejor interpretación de la parte financiera del mantenimiento. Por último, la realidad muestra que los sistemas de mantenimiento tienen escasos vínculos con la estrategia empresarial y con el negocio, lo que lleva a incongruencias tácticas y operativas que provocan ineficiencias [23]. La solución de estas cuestiones es el objetivo central de la gestión de activos. Por lo tanto, la GM en la práctica podría mejorarse si los esfuerzos

de gestión se dedicaran a la mejora de los principales factores identificados en este estudio.

Por otra parte, los resultados de la regresión logística binaria permiten a los profesionales evaluar la relevancia de los factores identificados en la mejora de su GM. Las empresas podrían utilizar la ecuación 1 para mejorar su GM. Deberán: 1) evaluar su desempeño en GM de acuerdo con los factores clave entre -2 y 2, desde "inaceptable" hasta "excepcional", 2) poner los valores obtenidos en cada factor en la ecuación, y 3) calcular el resultado de probabilidad de no mejora. Esta información podría utilizarse para establecer una línea de base inicial y determinar estratégicamente qué factores deberían cambiarse para mejorar la probabilidad obtenida. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ecuación 1 se ha obtenido a partir de cuestionarios en un estudio exploratorio. Por lo tanto, el resultado de la ecuación debe ser interpretado con cautela. Los informes de rendimiento del mantenimiento son difíciles de elaborar porque consumen mucho tiempo y dependen de la exactitud de los datos disponibles [24]. Por otra parte, los principales beneficios de las mejoras de mantenimiento se observan generalmente en otras áreas de trabajo, tales como la producción, la calidad, el capital vinculado, la gestión de LCC, etc., pero difícilmente se atribuyen al mantenimiento [19]. Por lo tanto, parece necesario en futuros estudios tener un mayor control sobre los orígenes y las causas de las mejoras de mantenimiento manifestadas por los profesionales en este estudio.

Finalmente, el análisis de conglomerados proporcionó cuatro estilos de GM. Excluyendo el grupo 2 (19% del total de profesionales), que tiene valores positivos altos en todos los factores y sobresale en la optimización del rendimiento de activos, todos los grupos tuvieron valores negativos en dos de los tres factores y alcanzaron el peor desempeño en uno de ellos. Los grupos 3 (13% del total de profesionales) y 4 (29% del total de profesionales) también sobresalen en uno de los tres factores, GP & TI y MO, respectivamente. Así, se cuenta con cuatro estilos de GM diferentes con valores extremos que muestran que ésta podría estar algo descompensada. Cabe destacar que sólo se ha registrado el puesto de trabajo y la experiencia de los profesionales de mantenimiento. Para comprender mejor los estilos de GM resultaría conveniente tener más información acerca de estos profesionales, así como saber más detalles sobre la GM en cada planta industrial. En este sentido, existen múltiples aspectos en el mantenimiento (antigüedad y calidad de los activos, la interpretación y uso de los conceptos de mantenimiento, las condiciones ambientales, la tecnología, etc.) que impiden la generalización de los resultados del estudio a otros sectores. Sin embargo, el procedimiento utilizado se puede generalizar para conocer los factores críticos de la GM de cualquier tipo de industria y sector.

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio ha identificado las principales actividades de GM que los profesionales tienen en cuenta al realizar su trabajo en la industria de *oil&gas* en Latinoamérica. Estas actividades están correlacionadas y pueden resumirse en tres factores principales que difieren de los contenidos en anteriores marcos teóricos: eficiencia de la mano de obra, gestión de proyectos y TI y optimización del rendimiento de activos.

Asimismo, este trabajo ha propuesto una ecuación que predice la mejora del mantenimiento en función de los tres factores identificados. La gestión de proyectos y TI es el factor más influyente para mejorar la GM, seguido por la optimización del rendimiento de activos y la eficiencia de la mano de obra. Esta información po-

dría ayudar a los gerentes a establecer las actividades de mantenimiento que más necesitan mejorar y a planificar una estrategia en consecuencia. Sin embargo, al tratarse de un estudio exploratorio acerca de una disciplina tan compleja se debería ser cauteloso, ya que el modelo de regresión obtenido utiliza un número limitado de variables que podrían simplificar en exceso el problema a resolver.

Finalmente, el trabajo incluye una agrupación de los operadores en función del nivel de desempeño manifestado en los factores clave de la GM, apareciendo cuatro estilos de GM. Este resultado permite conocer las fortalezas y debilidades de cada estilo, ofreciendo una idea general del nivel de desempeño en la GM alcanzado por empresas del sector. Con esa información los investigadores y profesionales podrían planificar mejor en el futuro sus proyectos de mejora del mantenimiento en esta industria.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eti M, Ogaji S, Probert S. "Reducing the cost of Preventive Maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture". *Applied Energy*. November 2006. Vol.83-11. p.1235-1248. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.01.002>)
- [2] Wireman T. *Developing performance indicators for managing maintenance*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2005. 246p. ISBN: 0-8311-3184-5
- [3] Alsyouf I. "Maintenance practices in Swedish industries: survey results". *International Journal of Production Economics*. September 2009. Vol.121-1. p.212-223. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.005>)
- [4] Abreu J, Martins PV, Fernandes S, et al. "Business Processes Improvement on Maintenance Management: A Case Study". *Procedia Technology*. 2013. Vol.9. p.320-330. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.036>)
- [5] Muchiri P, Pintelon L, Gelders L, et al. "Development of maintenance function performance measurement framework and indicators". *International Journal of Production Economics*. May 2011. Vol.131-1. p.295-302. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>)
- [6] Horenbeek AV, Pintelon L. "Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection". *Omega-International Journal of Management Science*. January 2014. Vol.42. p.33-46. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.006>)
- [7] Crespo A, Gupta J. "Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars". *Omega-International Journal of Management Science*. June 2006. Vol.34. p.313-326. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>)
- [8] Waeyenbergh G, Pintelon L. "CIBOCOF: a framework for industrial maintenance concept development". *International Journal of Production Economics*. October 2009. Vol.121-2. p.633-640. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.10.012>)
- [9] Faccio M, Persona A, Sgarbossa F, et al. "Industrial maintenance policy development: A quantitative framework". *International Journal of Production Economics*. January 2014. Vol.147. p.85-93. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.018>)
- [10] McKone KE, Schroeder RG, Cua KO. "The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance". *Journal of Operations Management*. January 2001. Vol.19-1. p.39-58. (DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(00\)00030-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00030-9))
- [11] Zio E. "Reliability engineering: Old problems and new challenges". *Reliability Engineering and System Safety*. February 2009. Vol.94-2. p.125-141. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2008.06.002>)
- [12] Cárcel-Carrasco FJ, Rodríguez-Méndez M. "Industrial maintenance and tacit knowledge: an introduction about its incidence". *Dyna Management*. January-December 2013. Vol.1.p.(no consta). (DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MNS5857>)
- [13] Keeney S, McKenna H, Hasson F. *The Delphi Technique in Nursing and Health Research*. Chichester: Wiley, 2010. 208p. ISBN: 978-1-4051-8754-1
- [14] Bromaghin JF. "Sample size determination for interval estimation of multinomial probabilities". *The American Statistician*. August 1993. Vol.43-3. p. 203-206. (DOI: <http://www.jstor.org/stable/2684978>)
- [15] EN 13306, 2010. *Maintenance. Maintenance Terminology*. European Standard. CEN European Committee for Standardization, Brussels.
- [16] Parida A, Chattopadhyay G. "Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM)". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2007. Vol.13-3. p.241-258. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/13552510710780276>)
- [17] Duffuaa SÖ, Raouf A, Campbell JD. *Planning and control of maintenance systems*. Indianapolis: Wiley, 2000. 400p. ISBN 978-3-319-19802-6
- [18] Amendola L, Artacho MA, Depool T. "Consider Critical Issues during a Plant Turnaround". *Hydrocarbon Processing*. September 2011. Vol.9. p.113-116. (ISSN: 0018-8190)
- [19] Al-Najjar B. "The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business". *International Journal of Production Economics*. May 2007. Vol.107-1. p.260-273. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.005>)
- [20] Alsyouf I. "The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability". *International Journal of Production Economics*. January 2007. Vol.105-1. p.70-78. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.06.057>)
- [21] Kerzner H. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. 11th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 1296p. ISBN: 978-1-118-02227-6
- [22] Bardhan I, Krishnan WV, Lin S. "Team Dispersion, Information Technology, and Project Performance". *Production and Operations Management*. November-December 2013. Vol.22. p.1478-1493. (doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2012.01366.x>)
- [23] El-Akruti K, Dwight R, Zhang T. "The strategic role of Engineering Asset Management". *International Journal of Production Economics*. November 2013. Vol.146. p.227-239. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.002>)
- [24] Zhou Y, Koub G, Erguc D. "Analysing Operating Data to Measure the Maintenance Performance". *Quality and Reliability Engineering International*. March 2015. Vol.31-2. p.251-263. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/qre.1584>)