

**Escuela de Negocios**

**Tipo de documento:** Tesis de maestría



*EMBA | Executive MBA*

## **Optimización de la gestión de Acuerdos de Operación Conjunta (JOA) en la industria de O&G: una aplicación práctica de Blockchain y Smart Contracts para la reducción de ineficiencias transaccionales**

**Autoría:** Puigdomenech, Facundo

**Año:** 2025

### **¿Cómo citar este trabajo?**

Puigdomenech, F. (2025) "Optimización de la gestión de Acuerdos de Operación Conjunta (JOA) en la industria de O&G: una aplicación práctica de Blockchain y Smart Contracts para la reducción de ineficiencias transaccionales". [Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella]. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella <https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/13798>

El presente documento se encuentra alojado en el **Repositorio Digital de la Universidad Torcuato Di Tella** bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional  
**Dirección:** <https://repositorio.utdt.edu>



**UNIVERSIDAD  
TORCUATO DI TELLA**

**TRABAJO FINAL**

**MAESTRIA EN DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

**Optimización de la gestión de Acuerdos de Operación Conjunta  
(JOA) en la industria de O&G: una aplicación práctica de  
Blockchain y Smart Contracts para la reducción de  
ineficiencias transaccionales.**

**AÑO: 2025**

**ALUMNO: Facundo Puigdomenech**

**TUTOR: Pablo Roccatagliata**

## DEDICATORIA – AGRADECIMIENTOS

A mi familia, mi esposa Virginia y mis hijos Andrés y Catalina.

También al grupo de compañeros del MBA 2020, los fantásticos profesores y Pablo Roccatagliata, mi tutor.

## RESUMEN EJECUTIVO

En la industria del petróleo y gas (O&G), en general; y en los procesos propios de los Acuerdos de Operación Conjunta (JOA), en particular, se presentan una serie de ineficiencias como, la falta de digitalización, la duplicación de validaciones y las fluctuaciones en el juicio humano (sesgos y ruido) que incrementan los costos de transacción e impactan sobre el riesgo contractual, amplificándolo.

A partir de un enfoque teórico conceptual y un análisis empírico de diversas aplicaciones prácticas de la tecnología Blockchain y Smart Contracts en el contexto detallado precedentemente, el objetivo de este trabajo radica en confirmar que la tecnología aborda con éxito la problemática descrita debido a sus características propias (descentralización, inmutabilidad, transparencia, eficiencia y seguridad) lo que la alinea con los estándares y prioridades de la industria de O&G, donde la actualidad de la información y la protección de la confidencialidad son fundamentales.

En los últimos años, la industria de O&G ha dado muestra en proyectos piloto, de significativas reducciones en el tiempo de procesamiento y en costos debido a la automatización de procesos, sea eliminando etapas ineficientes o "higienizando" la toma de decisiones con algoritmos que reducen la variabilidad y los sesgos. La implementación de la tecnología mejora los procedimientos mediante el registro inmutable de documentación y la automatización de flujos de trabajo; lo que puede inclusive acoplarse a una arquitectura integrada de Sistemas de Gestión de Procesos de Negocio (BPMS) para una mejor gestión. Sobre la base de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la aplicación de esta tecnología en el contexto elegido, la conclusión de este trabajo es que la misma puede reportar beneficios concretos para las empresas de la industria de O&G mediante una optimización del tiempo y una disminución de los costos de transacción, reduciendo el riesgo contractual.

## PALABRAS CLAVE

Blockchain, Smart Contracts, Ruido, JOA

## ÍNDICE

DEDICATORIA – AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN EJECUTIVO.....	3
PALABRAS CLAVE.....	4
ÍNDICE.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO 1: EL RIESGO CONTRACTUAL EN LA INDUSTRIA DE O&G. LA ADAPTABILIDAD COMO UN PUENTE HACIA LA AUTOMATIZACION.....	11
1.1 La fragilidad del entramado contractual.....	11
1.2 Enfoque conceptual de Blockchain.....	14
1.3 Mecanismos de consenso.....	19
▪ Proof of Work (PoW).....	20
▪ Proof of Stake (PoS).....	20
▪ Delegated Proof of Stake (DPoS).....	21
▪ Mecanismos de Tolerancia a Fallos Bizantinos (BFT).....	22
▪ Proof of History (PoH).....	23
▪ Proof of Elapsed Time (PoET).....	24
1.4 Una aproximación conceptual a los Contratos inteligentes (Smart Contracts) ...	24
▪ Origen y Concepto.....	25
▪ Funcionamiento y alcance.....	25
▪ Consideraciones sobre su aplicabilidad.....	27
▪ La Red de Contratos Inteligentes (Ethereum).....	28
▪ JOA y Smart Contracts.....	29
CAPITULO 2: LA PROBLEMÁTICA EMPIRICA.....	29
2.1 Ineficiencias contractuales.....	29
▪ Sesgos cognitivos y ruido.....	30
▪ La incidencia del ruido en los juicios de los expertos.....	32
▪ Sludge u obstáculos sistemáticos.....	33
2.2 Juicios e higiene de las decisiones.....	35
CAPITULO 3: BLOCKCHAIN & JOA.....	38
3.1 Acuerdos de operación conjunta (JOA): Características.....	38

3.2 Solicitud de autorización de fondos (AFE) y Cash calls .....	40
3.3 El procedimiento de contratación .....	45
3.4 Esquema de penalidades o desincentivos .....	48
3.5 Cláusulas de Ética, Compliance & Anticorrupción.....	51
3.6 Propuesta de arquitectura integrada .....	55
CAPITULO 4: ANÁLISIS COMPARATIVO Y OTRAS APLICACIONES .....	59
4.1 Comparativa de costos. Ejercicio práctico .....	59
4.2 Otras aplicaciones actuales de Blockchain en O&G .....	62
▪ Vakt y el trading de commodities .....	62
▪ El consorcio Blockchain for Energy (B4E) .....	63
▪ S&P Global Commodity Insights.....	63
▪ Quaychain y el abastecimiento de combustible .....	63
▪ Ziyen Energy y la tokenización .....	64
▪ Marco (Finboot) y la interface .....	64
▪ GuildOne (royalty ledger) y el pago de regalías.....	64
CONCLUSIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Función Convexa

Figura 2 – Sesgos y ruido en la distribución normal

Figura 3 – Gráfico de arquitectura integrada

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Procedimientos de contratación JOA

Tabla 2 – Mecanismos de desincentivos JOA

Tabla 3 – E&C Cuadro comparativo

Tabla 4 – Arquitectura Integrada. Características

Tabla 5 – Ejercicio de comparativa de costos

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objetivo responder a un interrogante principal, ¿la tecnología Blockchain aplicada en la industria del petróleo y gas (en adelante la “industria de O&G”) puede mejorar procesos internos y optimizar la ejecución de contratos? ¿sobre qué procesos o acuerdos en particular podría aplicarse y cómo los mejoraría? Esta inquietud surge a partir de la observación empírica de un fenómeno constante, un “pain point” que se repite y se comprueba tanto en la negociación y ejecución de acuerdos (i.e. contratos con socios, clientes y proveedores) como en la implementación de procesos y soluciones determinados (i.e. programa interno de Compliance), un fenómeno que se manifiesta de forma reiterada y que a priori puede denominarse como, ineficiencias. Estas ineficiencias afectan la economía de los contratos y/o procesos, alterando en la práctica el diseño original de estos como también la voluntad de las partes interesadas (para los casos de contratos) o de los implementadores (en el caso de procesos internos), lo que finalmente se traduce en costos de transacción para las empresas. La premisa de este trabajo consiste en que esos costos de transacción encarecen los contratos y procesos, pero son pasibles de ser minimizados mediante tecnología Blockchain a través de, por ejemplo, la aplicación de contratos inteligentes (Smart Contracts).

Los costos de transacción señalados surgen como consecuencia de una serie de conductas humanas intervinientes que alteran la voluntad original que las partes tuvieron al momento de definir el objeto del contrato (los términos y condiciones) y/o la finalidad que un implementador tuvo en miras al diseñar un proceso en particular. Las conductas humanas que generan costos de transacción comprenden desde tareas mecanizadas como el exceso de workload por la falta de digitalización de documentos y procesos (p/ej. documentos cruzados, e-mail varios, firmas de autorizantes, etc.), pasando por etapas antieconómicas como la duplicación de instancias de validación (p/ej. procesos de aprobación de certificaciones bajo Órdenes de Compra de proveedores) hasta cuestiones de índole psicológica como las fluctuaciones en el juicio debido a sesgos heurísticos y al ruido, entendiéndose este último concepto como la variabilidad significativa y no deseada en las decisiones, que en el marco del tema bajo examen, refiere y se refleja en la ejecución de cláusulas o procesos donde actúa el juicio de expertos que difieren en la solución (p/ej. aplicación de penalidades, monitoreo de riesgos de programa de integridad de Compliance, etc.).

En todos estos puntos y como derivadas del interrogante principal, se plantean las siguientes cuestiones secundarias ¿es posible minimizar los costos de transacción, ya sea eliminando las ineficiencias mediante la automatización de procesos o reduciendo la variabilidad, esto es, higienizando la toma de decisiones, mediante el uso de herramientas algorítmicas? Por ejemplo, el uso

de Smart Contracts estructurados sobre una red Blockchain ¿puede resultar una oportunidad tecnológica para la industria de O&G a los efectos de disminuir y eventualmente anular los costos de transacción ocasionados por los factores mencionados?

Recientemente, se han llevado adelante -en fase experimental- aplicaciones específicas de Blockchain sobre algunos de los procesos y contratos sobre los que tratará el presente trabajo, dando muestra del efecto que tiene su uso en términos de reducción de ineficiencias. Ciertos indicadores cuantitativos reflejan por ejemplo, una reducción del flujo de trabajo en procesos que normalmente toman 90-120 días a 1-7 días, y de 16 a 7 pasos, sin involucrar ningún tipo de intervención humana; también la posibilidad de validar automáticamente el 85% de todas las mediciones de volumen contra datos de múltiples partes, con el potencial de alcanzar al 100%; por otra parte, la automatización de validaciones permite la emisión directa de facturas correspondientes en los procesos de pago a proveedores, lo cual reduce riesgos al garantizar que los pagos se corresponden con actividades efectivamente realizadas, por último se estima un potencial para reducir costos de transacción entre un 25% y un 35% en comparación con los procesos actuales para todas las partes involucradas. Por su parte, el consorcio Blockchain for Energy (B4E) <sup>1</sup> en 2022 aplicó Blockchain para el manual del flujo de trabajo “Procure to Pay”, que involucra aprobaciones de órdenes de trabajo, aprobaciones de certificaciones y facturas de proveedores, apuntando a resolver problemas que en la práctica generan costos y retrasos en los pagos; este proyecto se llevó a la práctica migrando contratos en papel, automatizándolos como Smart Contracts, logrando una mayor transparencia y una forma de trabajo más fluida entre las partes contractuales. El proyecto logró una reducción del 60% en el tiempo de procesamiento de aprobaciones y una reducción del 80% en los tiempos de respuesta, proporcionando total transparencia a todas las partes involucradas en las transacciones, reduciendo la probabilidad de disputa o simplificando su resolución. También Gazprom Neft reportó que las tecnologías digitales incrementan la productividad entre 10-15% (Antipova, 2020) y un estudio en conjunto entre Shell, BP y Statoil ha estimado que la adopción de Blockchain reduce el tiempo que insumen las transacciones en la industria alrededor de un 30% (Musienko, 2021).

En este escenario, considerando, por una parte, que la inmutabilidad de los Smart Contracts como programas almacenados en una Blockchain que se ejecutan cuando se cumplen ciertas condiciones o criterios sirve a los efectos de la automatización de determinados procesos o términos y condiciones de un acuerdo sin que las partes dependan de terceros para su verificación; y por otra parte que en la industria de O&G internacional se vienen testeando soluciones

---

<sup>1</sup> El Consorcio incluye a Chevron, ConocoPhillips, Equinor, ExxonMobil, Hess, Marathon, Noble Energy, Pioneer Natural Resources, Repsol y Shell.

en línea con lo mencionado anteriormente para ciertos procesos y que dichos testeos han arrojado resultados positivos; en el presente trabajo se intenta responder el interrogante planteado en el inicio analizando en detalle la problemática señalada y la aplicación de soluciones que se han llevado adelante en la industria de O&G. A tales fines, se analizan procesos y contratos específicos de la industria de O&G y como Blockchain puede resultar una herramienta para automatizarlos (total o parcialmente) optimizando su ejecución, ya sea mediante la automaticidad como forma de reemplazar instancias o etapas ineficientes en el marco de estos procesos, o a través de la higienización de las decisiones mediante el uso del Smart Contract como un algoritmo que reduce el ruido y los sesgos heurísticos.

En el presente trabajo se analizan en particular los Acuerdos de Operación Conjunta o JOA por sus siglas en inglés, como un contrato esencial de la industria de O&G y mecanismos o procesos asociados a los mismos como el caso de los AFE (Autorización para Gastos) mediante el que se aprueban grandes gastos relacionados con exploración, desarrollo y producción; y como Blockchain podría resultar una herramienta útil para agilizar el proceso de votación mediante el cálculo automático de los intereses de participación (working interests) acortando tiempos, mejorando la transparencia y reduciendo el riesgo de disputas; también se analizará la viabilidad de su aplicación respecto de la aplicación de multas o desincentivos, certificación de servicios y Compliance y otros procesos en el marco de un JOA como la liquidación y el pago de regalías hidrocarburíferas.

El presente trabajo intenta subrayar el rol que tiene y que podría tener Blockchain y los Smart Contrats en la gestión contractual a efectos de optimizar procesos, reducir las probabilidades de disputa y proporcionar una única fuente de información confiable para todas las partes involucradas, lo que a la postre podría generar una disminución de los costos de transacción. A tales efectos, mediante un enfoque práctico se expondrán las aplicaciones mencionadas y también un ejercicio comparativo de costos empírico para finalmente arribar a las conclusiones sustentadas en un análisis FODA.

## CAPITULO 1: EL RIESGO CONTRACTUAL EN LA INDUSTRIA DE O&G. LA ADAPTABILIDAD COMO UN PUENTE HACIA LA AUTOMATIZACION

### 1.1 La fragilidad del entramado contractual

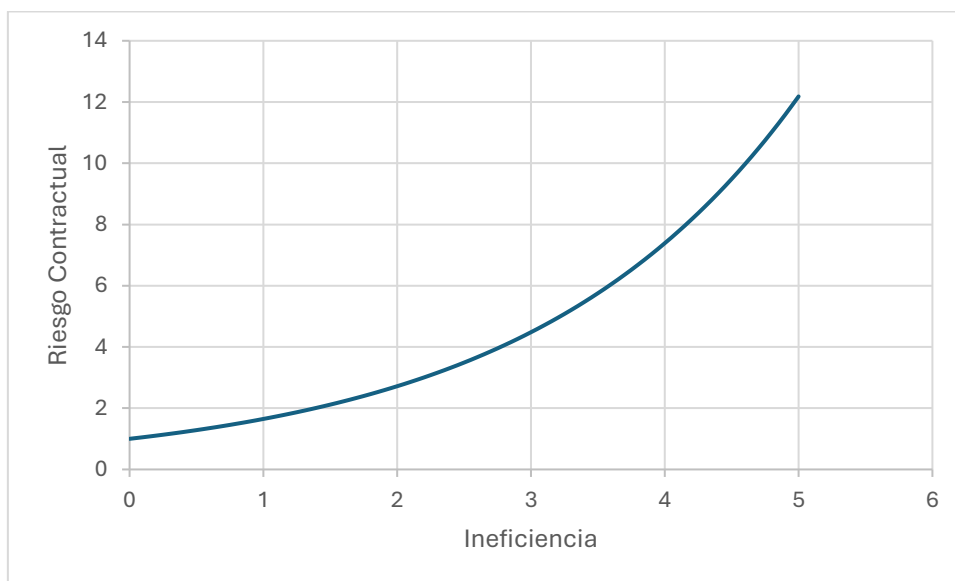
En este capítulo se analiza el riesgo contractual enmarcado en la industria de O&G y el efecto de las ineficiencias. Luego, se expondrá conceptualmente en que consiste Blockchain y los contratos inteligentes (Smart Contracts) como alternativas tecnológicas para optimizar la gestión contractual de los Acuerdos de Operación Conjunta (JOA) y reducir la exposición al riesgo.

Una de las cuestiones a considerar, primeramente, es la definición o delimitación del problema, del pain point en sí mismo y en cierto punto, la cuantificación de su impacto. A tales efectos es importante destacar que monetizar una reserva de gas o de petróleo requiere de una serie de acuerdos y contratos comerciales que integran el movimiento del recurso hidrocarburífero desde la cabeza de pozo hasta el cliente final. Esta secuencia concatenada implica que cada contrato presupone un output que impactará en el proceso, acuerdo o contrato posterior de la cadena de valor. Ello trae aparejado un riesgo contractual pasible de generar pérdidas y daños en la ejecución de un contrato de cualquier índole, ya sea comercial, operativo o debido a la deficiente atribución de responsabilidades a priori ante cada eventual contingencia. Sin perjuicio de que resulta esencial estipular en los contratos los riesgos relevados y cómo se tratarán en el caso que ocurran, las limitaciones de la información disponible al momento del perfeccionamiento del contrato pueden dificultar la gestión del riesgo contractual a los efectos de eliminar contingencias futuras. Por este motivo, un diagnóstico de eventuales contingencias y cursos de acción definido al momento de suscribir un acuerdo determinado presupone el valor agregado de los profesionales expertos intervinientes, pero también facilita la aplicación a dicho acuerdo de soluciones o herramientas tecnológicas que aportan eficiencia en la ejecución (Del Regno, 2010).

En esta línea de análisis se parte desde un concepto fundamental: las ineficiencias contractuales se traducen en costos de transacción, pero también amplifican el riesgo contractual. Esto significa que una ineficiencia determinada repercute en toda la cadena concatenada de valor de la monetización de una reserva hidrocarburífera; de modo que, la gestión del riesgo contractual es un pilar no solo de una administración eficiente en términos de tiempo y costo, sino también del control de riesgos propio de una industria inherentemente riesgosa (Del Regno, 2010); siendo el riesgo contractual una función de diversas ineficiencias contractuales.

En este escenario, un problema que podría presentarse de forma micro si fuera analizado en particular, como, por ejemplo, la variabilidad en la aplicación de penalidades o la demora en la aprobación de certificados de trabajo; puede eventualmente generar un impacto exponencial en términos de riesgo. Por este motivo es que la debida gestión del riesgo contractual no solo minimiza los costos esperados, sino que también reduce la propagación exponencial del riesgo lo cual es crucial en una industria caracterizada por altos niveles de incertidumbre y volatilidad. Dicho de otra forma, pequeños aumentos de ineficiencia pueden generar incrementos moderados en el riesgo al inicio, pero a partir de cierto umbral de repetición, el riesgo crece de manera desproporcionada. Este comportamiento se presenta en sistemas donde la incertidumbre y la volatilidad amplifican el impacto de errores menores; se puede graficar en una función convexa como surge de la figura a continuación:

**Figura 1 – Función Convexa (fuente: elaboración propia)**



En la Figura 1 se visualiza teóricamente el concepto detallado, partiendo de la premisa empírica de que en primer término, la industria de O&G es una industria volátil e inherentemente riesgosa per se, por lo tanto, las relaciones transaccionales propias de esta industria que se instrumentan y materializan mediante acuerdos, procesos y contratos, conforman un entramado que puede definirse como un sistema frágil en el sentido de que se caracteriza por una alta sensibilidad a perturbaciones, ya que pequeñas fluctuaciones pueden generar grandes impactos (positiva o negativamente) o en otras palabras, los efectos que se producen no son lineales. Por otra parte, el sistema en sí depende de pocos elementos críticos, no tiene suficientes amortiguadores y se basa en modelos que asumen la estabilidad y continuidad del pasado (Taleb, 2020).

Así, el entramado contractual se encuentra fuertemente ligado a factores externos volátiles (i.e. cambios regulatorios, fluctuaciones de precios del petróleo y riesgos geopolíticos) y sostenido sobre una rígida interdependencia en la cadena de valor entre operadores, proveedores, transportistas y reguladores. Por ejemplo, el contrato sobre el cual se focaliza el análisis, el JOA, se sustenta en un modelo de tipo institucional (AIEN<sup>2</sup>) que se revisa y actualiza en un período prolongado de tiempo<sup>3</sup>, en la práctica, las partes de un JOA adhieren casi de forma automática a los términos y condiciones previstos por el modelo, adicionando contenido en algunos casos, mediante side letters<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Association of International Energy Negotiators (anteriormente, AIPN-Association of International Petroleum Negotiators)

<sup>3</sup> El último modelo de JOA AIEN data del año 2023, mientras que su predecesor data del año 2012.

<sup>4</sup> Acuerdos complementarios y privados que, si bien no forman parte del cuerpo principal del contrato, son legalmente vinculantes para las partes firmantes y se utilizan para aclarar, modificar, complementar o establecer excepciones específicas a los términos del acuerdo principal.

En este escenario, durante la vida del contrato se produce una asimetría de la información para las partes lo que convierte al JOA (paradójicamente contra su extensión y la complejidad de sus cláusulas) en un contrato incompleto que no puede anticipar o contemplar todos los posibles eventos, cambios regulatorios, económicos o tecnológicos que pudieran acontecer <sup>5</sup>.

Por este motivo, y dada la interdependencia en el entramado contractual, el incumplimiento o la selección adversa en el marco de un solo contrato (p/ej. retraso en la perforación o fallas en permisos ambientales, decisiones ejecutadas sin contemplar toda la información) puede generar un efecto en cadena en múltiples acuerdos, amplificando el riesgo total del sistema. La elaboración de arquitecturas contractuales bajo suposiciones lineales o estándares que no actualizan en tiempo real los cambios acontecidos y las lecciones aprendidas a partir de la dinámica del contrato en cuestión (p/ej. asumir estabilidad en el precio del barril o que los costos de operación seguirán ciertas proyecciones), termina por volver obsoletas las cláusulas generando renegociaciones forzadas o litigios, ya que los contratos suelen involucrar largos procesos de negociación, aprobación y cumplimiento, reduciendo la capacidad de adaptarse rápidamente ante eventos inesperados, lo que a la postre lleva a que el sistema sea menos resiliente, consolidando su fragilidad (Taleb, 2012).

En este escenario, la incorporación de herramientas para dotar de eficiencia al entramado contractual a fin de disminuir los costos de transacción resulta relevante ya que amplifica la previsibilidad de la gestión de riesgos contractuales, lo que en cierta forma se traduce en una solución un tanto más lineal, que sirve de amortiguador o buffer de la fragilidad inherente del sistema.

## 1.2 Enfoque conceptual de Blockchain

En el año 2017, en el marco de un reporte técnico, un ejecutivo relevante de una empresa productora de O&G fue consultado respecto de cuál era su opinión sobre Blockchain, y su respuesta fue: *"Eso es Bitcoin, ¿verdad?"* (Deloitte, 2017). Esta clase de mal entendidos elementales subsiste a la fecha en muchas y diversas empresas, alcanzando inclusive al upper management o alta gerencia donde se toman las decisiones más relevantes para dichas organizaciones. Este es el motivo por el cual resulta sumamente importante definir primeramente el pain point y luego la propuesta de valor para intentar determinar el cómo la tecnología Blockchain y los Smart Contracts (contratos inteligentes) funcionarían aplicados en empresas de la industria de O&G, a fin de establecer cómo la automatización de ciertos procesos y cláusulas mejora el cumplimiento

---

<sup>5</sup> La teoría de los contratos se centra en cómo las personas y organizaciones diseñan y construyen acuerdos legales, tomando en cuenta que a menudo existen intereses enfrentados e información asimétrica entre las parte tres modelos principales que abordan problemas derivados de información asimétrica: moral hazard (riesgo moral, donde una parte no observa totalmente la acción de la otra), adverse selection (selección adversa, donde una parte desconoce características importantes del otro) y signaling (señalización, donde una parte transmite información sobre su tipo o calidad).

contractual, aporta una mayor transparencia y mejora los flujos de información, reduciendo en última instancia el riesgo sistémico.

De este modo, cobra especial relevancia un concepto en particular, el de adaptabilidad, que en este contexto se manifiesta como una etapa del desarrollo de la digitalización, lo que naturalmente implica mayor predictibilidad y automatización de cursos de acción (Zakizadeh & Zand, 2023). Para ello, deviene relevante contestar a priori una pregunta esencial: ¿qué es Blockchain? A modo de disclaimer, vale aclarar que excede al objeto de este trabajo realizar un análisis de tipo técnico respecto de esta tecnología, sin embargo, resulta necesario para una mejor comprensión de la temática, introducir sus características fundamentales.

La tecnología blockchain es, en su esencia más fundamental, una máquina de estados replicada y determinística que funciona como un libro mayor digital distribuido y descentralizado. El propósito principal de esta tecnología versa sobre registrar transacciones de manera secuencial, transparente e inmutable. A diferencia de los sistemas centralizados que dependen de una única autoridad para la validación y el mantenimiento de datos, la información en una blockchain se replica y comparte a través de una red de nodos participantes. Cada "bloque" en esta cadena contiene un conjunto de transacciones verificadas, una marca de tiempo y un enlace criptográfico al bloque anterior, formando una cadena cronológica e inalterable. Esta estructura inherente garantiza la integridad de los datos de manera criptográfica, ya que cualquier intento de modificación en un bloque requeriría alterar todos los bloques subsiguientes y obtener el consenso de la mayoría de la red, lo que la hace computacionalmente inviable en un entorno permissionado robusto (p/ej. Bitcoin o Ethereum). La inmutabilidad de los datos en una blockchain se deriva de la interconexión criptográfica de los bloques y el proceso de consenso distribuido.

En el marco de esta conceptualización, blockchain no solo opera como un registro, sino como un sistema donde cada nodo mantiene una copia idéntica del estado de la cadena y procesa las transacciones de la misma manera, garantizando que el resultado final sea consistente en toda la red, independientemente del orden de llegada de las transacciones (Voshmgir, 2020), se trata entonces de una naturaleza determinística que es clave para la confianza y la auditabilidad, ya que la ejecución de una transacción siempre producirá el mismo resultado en cualquier nodo que siga las reglas del protocolo, eliminando la necesidad de confianza en un tercero.

El funcionamiento de Blockchain se basa en un proceso de consenso distribuido. Cuando se inicia una nueva transacción, se difunde a través de la red de nodos. Estos nodos verifican la validez de la transacción mediante reglas predefinidas y algoritmos de consenso (p/ej. Proof of Work, Proof of Stake, etc.). Una vez que un número suficiente de nodos llega a un acuerdo sobre la validez de un conjunto de transacciones, estas se agrupan en un nuevo bloque. Este bloque se añade

a la cadena existente utilizando una función hash criptográfica que genera una huella digital única del bloque anterior, asegurando la conexión secuencial e inmutable (Lu, Hunag, Azimi & Guo, 2019). La información registrada en Blockchain es generalmente transparente y accesible a todos los participantes de la red, aunque la identidad de los usuarios puede permanecer seudonimizada, esto es, que se reemplaza la información identificable de una persona con un seudónimo o identificador único, de manera que no sea posible identificar directamente a la persona sin información adicional.

La descentralización en Blockchain elimina la dependencia de intermediarios, reduciendo costos y puntos únicos de falla. Por su parte, la inmutabilidad garantiza la integridad y la auditabilidad de los datos, generando mayor confianza entre las partes. La transparencia (aunque con seudonimización) permite la verificación pública de las transacciones, fomentando la rendición de cuentas. Adicionalmente, la eficiencia en el procesamiento de transacciones y la seguridad criptográfica inherente la convierten en una infraestructura robusta para diversas aplicaciones, desde criptomonedas hasta la gestión de cadenas de suministro y la votación electrónica. De lo expuesto se puede afirmar que Blockchain se caracteriza por:

- (i) **Descentralización:** Es la característica esencial del sistema, que básicamente significa que no depende de un nodo de procesamiento central, lo que permite el registro, almacenamiento y actualización distribuida de datos. El estado de cada nodo es el mismo, y los bloques de datos son mantenidos por los nodos con la función de mantenimiento en todo el sistema. Si un nodo se detiene, no afecta el funcionamiento general. La descentralización reduce o minimiza la confianza necesaria en una sola entidad y distribuye el riesgo<sup>6</sup>. Es crucial entender que la descentralización no es un estado binario, sino un espectro. El grado de descentralización varía significativamente según el diseño de la red y el mecanismo de consenso, afectando directamente la resiliencia y la resistencia a la censura de la Blockchain (Voshmgir, 2020).
- (ii) **Inmutabilidad:** Implica que la información no puede ser modificada luego de ser verificada y agregada a la Blockchain; lo que se traduce en una significativa estabilidad y confiabilidad de los datos. Esta propiedad es un pilar fundamental para la confianza en los registros distribuidos. La inmutabilidad es lograda por la combinación de la criptografía (el hash de los bloques y la firma digital de las transacciones) y los mecanismos de consenso que aseguran que la mayoría de la red valide y acepte una secuencia de bloques. Cada bloque está criptográficamente vinculado al anterior, formando una

---

<sup>6</sup> Minimización de la confianza

cadena inquebrantable que hace que cualquier intento de modificación sea evidente y, por ende, inviable sin el control de la mayoría de la red (Ouyang et al., 2019). Esta propiedad garantiza la integridad de los datos y la fiabilidad del historial de transacciones.

- (iii) **Transparencia:** Es la base de confianza en Blockchain, ya que el registro y la actualización de datos son transparentes para los nodos de toda la red, que pueden revisar registros de datos y rastrear operaciones. Sin embargo, Voshmgir (2020) enfatiza la distinción crucial entre la transparencia de los datos transaccionales y la privacidad de los usuarios. En muchas blockchains públicas, las transacciones son seudónimas, lo que implica que las direcciones de las billeteras son visibles, pero no están directamente vinculadas a la identidad del usuario en el mundo real, aunque la trazabilidad del historial de transacciones puede, en ciertos casos, llevar a la ruptura del anonimato.
- (iv) **Eficiencia:** Al distribuirse los registros de la base de datos a los usuarios, el sistema deviene más eficiente en términos de riesgo y costo al eliminar intermediarios y simplificar los procesos de verificación (Lu, Huang, Azimi, Guo, 2019). No obstante, Voshmgir (2020) subraya que la eficiencia en blockchain a menudo se negocia con la descentralización y la seguridad. De este modo, las blockchains públicas (que se detallarán más adelante) pueden tener una menor escalabilidad (medida en TPS/transacciones por segundo) que las bases de datos centralizadas debido al costo computacional inherente al consenso distribuido. Por otro lado, las blockchains permissionadas (concepto que también se tratará más adelante) pueden ofrecer una mayor eficiencia al sacrificar cierto grado de descentralización.
- (v) **Seguridad:** A diferencia de una red centralizada que resulta vulnerable ante un ataque único que puede eventualmente afectar o comprometer a todo el sistema, la naturaleza descentralizada de Blockchain así como su diseño criptográfico, implica que un ataque a un solo nodo no destruirá la seguridad de todo el sistema. La resistencia a los ataques Sybil (donde un atacante crea múltiples identidades falsas), a los ataques doble spend (gastar los mismos fondos dos veces) y a la censura (impedir que las transacciones legítimas se incluyan en la cadena) son características fundamentales de la seguridad a las que apunta un diseño robusto de blockchain. La dificultad y el costo del ataque aumentan exponencialmente con el tamaño y la descentralización de la red, haciendo que la mayoría de las blockchains consolidadas sean extremadamente seguras contra la manipulación maliciosa de datos (Ahmad et al., 2021).

Habiendo expuesto someramente las características que definen Blockchain, la próxima incógnita a despejar es ¿qué tipos de Blockchain existen? lo que indefectiblemente conduce a un nuevo interrogante ¿cuál de estos tipos se adapta mejor a las características propias de la industria de O&G? Teniendo en cuenta el modelo de permiso y gobernanza, es posible clasificar tres tipos:

- (i) Blockchain Pública (sin permiso): Es aquella que puede ser leída por cualquiera, puede enviar transacciones y puede ser validada de manera efectiva, y cualquiera puede participar en el proceso de consenso (Ouyang et al., 2019). Una Blockchain pública es en cierta forma la máxima representación de la descentralización (p/ej. Bitcoin y Ethereum) y representan entornos sin permiso donde cualquiera puede unirse y participar en el proceso de consenso, caracterizándose por su alta resistencia a la censura y su alto grado de transparencia. Sin embargo, pueden presentar desafíos significativos en cuanto a la escalabilidad (debido a la necesidad de que todos los nodos validen todas las transacciones) y la privacidad (dada la naturaleza pública de los datos), lo que las hace menos adecuadas para ciertos casos de uso empresarial que requieren confidencialidad y alto rendimiento.
- (ii) Blockchain Privada (con permiso): En este tipo de blockchain, el permiso de escritura está controlado por una organización o un individuo centralizado, y el permiso de lectura puede estar abierto o restringido según las políticas de la entidad controladora. Este sistema cerrado es utilizado por empresas y agencias u organismos estatales para la gestión interna de datos donde la velocidad y la confidencialidad son primordiales. Aunque las blockchain privadas no resuelven completamente el problema de la confianza de la misma manera que una blockchain pública (ya que dependen de una única entidad o un pequeño grupo de ellas para su gobernanza), pueden mejorar significativamente la auditabilidad (Lu, Huang, Azimi, Guo, 2019), la trazabilidad y la eficiencia dentro de un entorno controlado, ofreciendo un mejor rendimiento y mayor privacidad al limitar los participantes y, por ende, el número de validadores.
- (iii) Blockchain de Consorcio (permitida): En este caso la participación se encuentra restringida a los miembros de un consorcio predefinido<sup>7</sup>. Los permisos de lectura y escritura en Blockchain y la participación en los derechos se determinan según las reglas del consorcio. Los datos de cada participante del Consorcio solo pueden ser vistos por ellos mismos o por personas autorizadas, permitiendo un equilibrio entre privacidad y transparencia selectiva. En el Consorcio la gobernanza se encuentra semi descentralizada, ya que la toma de decisiones sobre

---

<sup>7</sup> Un consorcio es un grupo de organizaciones colaboradoras, por ejemplo, B4E (Blockchain for Energy).

la red se comparte entre los miembros del consorcio que la operan y mantienen. La principal diferencia entre una blockchain privada y una de consorcio radica en que la privada actúa como una base de datos distribuida gestionada por una sola entidad, mientras que el consorcio es una base de datos distribuida gestionada colaborativamente por un grupo de organizaciones (Voshmgir, 2020), esto representa una diferencia fundamental en la gobernanza y el control de los permisos de escritura y validación.

A prima facie, una Blockchain privada o un Consorcio resultan las herramientas que presentan mayor compatibilidad con la industria de O&G, ya que responden a la necesidad donde un grupo de organizaciones (productoras, operadores, proveedores, autoridades) colaboran en una plataforma compartida u operan conjuntamente, pero con un cierto nivel de control y confidencialidad. Al limitarse la participación a partes autorizadas exclusivamente (p/ej. Operador, Socios No-Operadores del JOA y auditores externos) se tiene control sobre los permisos de lectura y escritura en la Blockchain, asegurando la confidencialidad y el cumplimiento legal; adicionalmente, y desde un punto de vista de la eficiencia, bajo estas formas de Blockchain, la velocidad de procesamiento es más alta porque no se necesita validar bloques públicamente, lo que agiliza su operabilidad. A efectos de ejemplificar con plataformas que facilitan estos entornos permissionados se puede incluir a Hyperledger Fabric y R3 Corda (Blanco, 2020), que han sido diseñadas específicamente para casos de uso empresarial donde la privacidad, la escalabilidad y la gestión de permisos son críticas.

### 1.3 Mecanismos de consenso

El proceso de verificación en Blockchain consiste en lograr un consenso sobre el contenido del libro mayor distribuido (*distributed ledger*). Este proceso, descentralizado y automatizado, se concreta mediante un algoritmo de consenso que puede clasificarse según el tipo de tolerancia a fallos y el grado de consistencia. Los mecanismos de consenso son esenciales para garantizar la coherencia y la validez de los datos en una red descentralizada, ya que deben resolver el problema de los “generales bizantinos”<sup>8</sup> en un entorno donde algunos nodos pueden ser maliciosos o fallar, sin la necesidad de una autoridad central que arbitre (Voshmgir, 2020). Los mecanismos de consenso deben siempre resolver y equilibrar los siguientes desafíos clave: (i) ¿Cómo lograr consenso sobre un historial unificado de transacciones? (ii) ¿Cómo alinear los recursos escasos con la seguridad de la red para disuadir a los actores maliciosos? (iii)

---

<sup>8</sup> El Problema de los Generales Bizantinos es un dilema fundamental en sistemas distribuidos que busca explicar cómo un grupo de entidades (los “generales”) puede llegar a un acuerdo unánime y confiable cuando algunos de ellos pueden ser “traidores” (es decir, fallar o actuar maliciosamente) y la comunicación entre ellos no es totalmente segura. El problema radica no solo en el acuerdo sobre la decisión, sino que estén seguros de que todos los demás han recibido y aceptado esa misma decisión, a pesar de la posibilidad de traidores o fallas en la comunicación.

¿Cómo mitigar los riesgos de seguridad y los vectores de ataque? (iv) ¿Cómo evitar la concentración de poder? A continuación, se describen los principales mecanismos de consenso:

- **Proof of Work (PoW)**

Es el mecanismo de consenso fundacional popularizado por Bitcoin. En su esencia, PoW requiere que los participantes de la red, denominados mineros, demuestren haber realizado una cantidad significativa de trabajo computacional para poder validar nuevas transacciones y añadir nuevos bloques a la cadena. La idea central gravita sobre que la inversión de recursos computacionales (hardware) y económicos (electricidad) por parte de los mineros crea una barrera de entrada para ataques maliciosos o comportamientos “deshonestos”. Para tener la oportunidad de ser el siguiente en añadir un bloque válido a Blockchain y, en consecuencia, recibir una recompensa (generalmente a través de la criptomoneda nativa de la plataforma que se trate y las tarifas de las transacciones incluidas en el bloque), los mineros deben competir para resolver un problema matemático criptográfico complejo (problema del nonce), de modo que el primero en encontrar la solución tiene el derecho de añadir el siguiente bloque y es recompensado (Lu, Huang, Azimi & Guo, 2019). Este problema está diseñado de tal manera que requiere una gran cantidad de potencia computacional para encontrar la solución, pero resulta trivial verificarla. Una vez que un minero encuentra la solución correcta, la verificación de esta solución por otros nodos de la red es extremadamente sencilla y rápida. Esta dinámica genera una carrera computacional constante entre los mineros, incentivando la inversión en hardware especializado (ASIC)<sup>9</sup> para incrementar la potencia de hashing, lo que a su vez fortalece la seguridad de la red. Cuanto mayor sea la potencia computacional total, más difícil y costoso se vuelve para un atacante potencial intentar manipular la blockchain.

Debido a que las redes bajo el mecanismo PoW requieren vastos recursos computacionales y solo pueden procesar un número limitado de TPS, se desarrollaron una serie de mecanismos de consenso menos intensivos en energía y con una mayor escalabilidad.

- **Proof of Stake (PoS)**

El mecanismo PoS o Prueba de Participación, fue desarrollado como una alternativa más eficiente energéticamente y escalable al PoW. En este caso, los validadores son elegidos en función de la cantidad de tokens de la red que están

---

<sup>9</sup> Application-Specific Integrated Circuit, que se traduce como Circuito Integrado de Aplicación Específica. Chip diseñado y fabricado para ejecutar una sola función o un conjunto muy limitado de funciones con la máxima eficiencia y rendimiento. Los ASICs son fundamentales para la minería de aquellas que utilizan algoritmos de Proof of Work y están diseñados específicamente para resolver los complejos problemas criptográficos (hashing) requeridos para añadir nuevos bloques a la blockchain.

dispuestos a arriesgar como garantía. En este proceso, los validadores bloquean sus activos por la oportunidad de añadir nuevos bloques al libro mayor, obteniendo recompensas en forma de nuevos tokens acuñados y tarifas de transacción, en otras palabras, los validadores operan como guardianes de la red y a fin de añadir nuevos bloques de información (transacciones) al registro principal, que es como un gran libro contable, estos guardianes deben depositar (bloquear) una cantidad de sus propios tokens nativos de la red para demostrar su compromiso y buena fe, de modo que a cambio de este riesgo y de su trabajo al verificar y añadir nuevos bloques, son recompensados con criptomonedas recién creadas y con las comisiones que pagan los usuarios por cada transacción. Los tokens arriesgados (staked) sirven como un depósito de seguridad que puede ser "cortado" (slashed) si los validadores actúan maliciosamente o no siguen las reglas del protocolo. En PoS, la probabilidad de ser seleccionado como validador de un bloque es proporcional a la cantidad de criptomoneda que se posee y se apuesta.

Si bien PoS prometía reducir el consumo de energía, introdujo nuevos desafíos: asegurar una distribución equitativa de tokens para evitar la centralización de los validadores y abordar el problema del "nada en juego" (nothing at stake), donde los validadores podrían intentar validar múltiples transacciones conflictivas sin consecuencias financieras significativas. El primer proyecto en implementar PoS fue "Peercoin" en 2012, que inicialmente lo combinó con PoW en un modelo híbrido antes de una transición completa. Otras redes que adoptaron PoS incluyen "Tezos", "Cardano" y "Avalanche" (Voshmgir, 2020). Por su parte, Ethereum también hizo la transición de PoW a PoS en 2022, proceso de upgrade que se conoció como The Merge<sup>10</sup>.

- [Delegated Proof of Stake \(DPoS\)](#)

Es una variación un tanto más radical de PoS implementada por primera vez por "BitShares" en 2014. La característica distintiva radica en que combina PoS con elementos de democracia representativa, donde los poseedores de tokens delegan su poder de voto a un grupo más pequeño de validadores, conocidos como "productores de bloques" (block producers). Este modelo mejora el rendimiento de las transacciones y la escalabilidad, pero introduce un mayor grado de centralización al limitar el número de validadores activos (Lu, Huang, Azimi & Guo, 2019). La responsabilidad continua de los delegados ante la comunidad es crucial, ya que los poseedores de tokens tienen la libertad de cambiar sus votos en cualquier momento, pudiendo destituir a los delegados que no cumplan con sus expectativas o que actúen de manera maliciosa. Este mecanismo de rendición de cuentas incentiva a los delegados a mantener un comportamiento correcto y eficiente. Otras redes blockchain que adoptaron variaciones de DPoS incluyen a "Steem", "EOS" y "Lisk" (Voshmgir, 2020).

---

<sup>10</sup> Referencia al proceso de fusión de Ethereum (The Merge).

- Mecanismos de Tolerancia a Fallos Bizantinos (BFT)

Estos mecanismos de consenso están diseñados para garantizar la seguridad de la red incluso cuando algunos nodos actúan maliciosamente (fallos bizantinos). En muchas implementaciones, los protocolos basados en BFT pueden tolerar hasta un tercio de los nodos maliciosos antes de que la seguridad de la red se vea comprometida. Voshmgir (2020) explica que, si bien BFT es más eficiente en el uso de recursos que PoW, también tiende a ser más centralizado, ya que a menudo requiere un conjunto conocido y más pequeño de participantes para un funcionamiento eficiente. A continuación, algunas variaciones de BFT:

- (i) Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT): Este algoritmo reduce la complejidad algorítmica de exponencial a polinómica, lo que lo hace viable para implementaciones prácticas en sistemas distribuidos permissionados. El acuerdo sobre un nuevo bloque se logra a través de un proceso de tres fases de votación entre los nodos. Cada nodo emite un voto, y el consenso se alcanza mediante una regla de mayoría simple. Un aspecto crucial de PBFT es su tolerancia a fallos bizantinos, garantizando el consenso siempre que no más de  $1/3$  de los nodos del sistema fallen (es decir, de  $N$  nodos, se requiere un mínimo de  $2N/3+1$  nodos honestos para lograr consenso). PBFT es especialmente adecuado para redes permissionadas donde el número de nodos es limitado y conocido (Lu, Huang, Azimi & Guo, 2019), ya que la identificación de los participantes permite un sistema de reputación y la prevención de ataques Sybil<sup>11</sup>. La ventaja radica en la finalidad instantánea de las transacciones, lo que lo hace ideal para entornos empresariales donde la consistencia rápida es primordial, aunque su escalabilidad se ve limitada por la cantidad de mensajes que deben intercambiarse entre nodos a medida que la red crece. Hyperledger Fabric es una aplicación de PBFT utilizada principalmente para aplicaciones en empresas.
- (ii) Tendermint: Este algoritmo representa una optimización del PBFT tradicional, diseñado para mejorar la eficiencia y la simplicidad en el logro del consenso. Una de sus características distintivas es que requiere solo dos rondas de votación para alcanzar un acuerdo sobre un nuevo bloque: "pre-vote" y "pre-commit". En la ronda de "commit", un bloque solo se considera confirmado y se añade a la cadena si más de  $2/3$  de los validadores han realizado un "pre-

---

<sup>11</sup> Forma de ataque en sistemas distribuidos, como las redes peer-to-peer (P2P) y, de manera muy relevante, las blockchain, donde un único atacante crea y controla múltiples identidades falsas o pseudónimas para obtener una influencia desproporcionada en la red a efectos de manipular el consenso, aislar nodos legítimos, censurar transacciones, difundir información falsa, etc.

commit" sobre el mismo bloque. La capacidad de Tendermint para simplificar el proceso de consenso radica en el uso del mismo mecanismo tanto para proponer un bloque como para omitir a un proponente y pasar directamente a la siguiente ronda de votación en caso de inactividad. Esto lo convierte en un algoritmo robusto y eficiente. Tendermint se utiliza en blockchain que apuntan a un consenso rápido, seguro y con alta tolerancia a fallos, especialmente en entornos donde se conoce el conjunto de validadores, ofreciendo una finalidad instantánea de la transacción, lo que significa que una vez que una transacción es confirmada, no puede ser revertida (Lu, Huang, Azimi & Guo, 2019). El diseño modular del algoritmo es una ventaja clave, ya que separa la capa de red y consenso (Tendermint Core) de la capa de aplicación, permitiendo a los desarrolladores construir aplicaciones blockchain personalizadas sin tener que preocuparse por los detalles subyacentes del consenso <sup>12</sup>.

- (iii) Federated Byzantine Agreement (FBA): Utilizado por "Ripple" y "Stellar", permite a los validadores seleccionar sus propios pares de confianza en lugar de requerir el acuerdo de toda la red. Este enfoque distribuye el poder de decisión y mejora la escalabilidad, aunque requiere que cada nodo confíe en un subconjunto de la red para garantizar el consenso (Voshmgir, 2020).
- (iv) Delegated BFT (dBFT): Utilizado por "NEO", modifica PBFT al introducir validadores elegidos por la comunidad que alcanzan el consenso a través de múltiples rondas de votación.

- **Proof of History (PoH)**

PoH es básicamente una técnica criptográfica desarrollada en la red (Solana) para habilitar el ordenamiento de transacciones a alta velocidad. PoH no es un mecanismo de consenso independiente, sino que funciona como un sistema de cronometraje que opera junto con PoS para aumentar el rendimiento (throughput). Esta técnica establece un registro histórico verificable que marca las transacciones con un sello de tiempo antes de que sean validadas. Esto permite a los validadores de Solana acordar el orden de las transacciones sin necesidad de comunicación continua, reduciendo la latencia y mejorando la escalabilidad de la red. No obstante, PoH ha enfrentado críticas, principalmente debido a las preocupaciones sobre los requisitos de hardware de alto rendimiento, lo que podría llevar a la centralización de los validadores. Los críticos también señalan posibles riesgos de seguridad asociados con su

---

<sup>12</sup>Un ejemplo de red que utiliza Tendermint es Cosmos.

enfoque único de sellado de tiempo, que podría introducir nuevos vectores de ataque.

- [Proof of Elapsed Time \(PoET\)](#)

PoET es un protocolo de consenso que implica la generación aleatoria de un período de espera (delay) dentro de este entorno de seguridad controlado. A efectos de su comprensión, resulta relevante señalar el rol sustancial de la CPU (Central Processing Unit) en tanto alberga y ejecuta un entorno de ejecución confiable (TEE por sus siglas en inglés, Trusted Execution Environment). CPU proporciona una prueba criptográfica de la confiabilidad de este retraso, asegurando que el tiempo de espera asignado a cada nodo es genuino y no manipulado. El nodo que recibe el período de espera más corto es el que obtiene los derechos para proponer el siguiente bloque. De esta manera, la probabilidad de ser elegido para crear un bloque se vuelve proporcional al número de CPU que un participante controla, incentivando la expansión de los recursos de la red de manera distribuida. PoET se basa en la premisa de que los TEEs pueden proporcionar una garantía criptográfica de que un proceso de selección es justo y aleatorio, sin requerir una gran cantidad de energía o stake, haciéndolo atractivo para blockchain permissionadas al ofrecer una alternativa eficiente a PoW (Chen et al.,2017). Sin embargo, la seguridad depende de la confianza en el hardware subyacente y en el fabricante del TEE, lo que introduce un punto de confianza centralizado que podría ser una vulnerabilidad.

#### [1.4 Una aproximación conceptual a los Contratos inteligentes \(Smart Contracts\)](#)

En el marco del presente trabajo, los contratos inteligentes o Smart Contracts constituyen una herramienta de adaptabilidad hacia la etapa de automatización que fuera señalada con anterioridad, y actúan como contratos autoejecutables basados en criterios acordados y escritos en código; lo que tiene como efecto eliminar la ambigüedad de los términos y condiciones, así como reducir la necesidad de intervención de los diversos participantes expertos (i.e. abogados in-house, consultores externos) en la elaboración e interpretación reiterada del contenido de los acuerdos.

Un Smart Contract puede ser definido como un programa informático que se ejecuta automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones predefinidas, sin necesidad de intermediarios. Los Smart Contracts transforman los acuerdos contractuales en código ejecutable y auditable en una blockchain. Su naturaleza determinística y la ejecución inmutable en la red garantizan que, una vez desplegados, se comportarán exactamente como fueron programados, eliminando la necesidad de confianza en terceros para su cumplimiento (Jehl & Bartish, 2018). Esto permite la creación de dinero o acuerdos programables, donde las condiciones de pago o transferencia de activos se automatizan

completamente. Los Smart Contracts son la base de las aplicaciones descentralizadas (dApps) y de la finanza descentralizada (DeFi), permitiendo interacciones sin confianza entre pares.

- **Origen y Concepto**

El término "Smart Contract" fue acuñado originalmente por Nick Szabo en 1994 para describir cómo las transacciones digitales podrían utilizarse para formalizar relaciones económicas y sociales, dos décadas antes del lanzamiento de Ethereum. Szabo justificó el término "inteligente" (smart) al enfatizar que los contratos digitales podrían ser automáticamente ejecutados y verificados sin requerir intermediarios; protocolos de transacción digital que hacen cumplir automáticamente los acuerdos contractuales, con el objetivo de reducir la incertidumbre y minimizar los costos de ejecución (Voshmgir, 2020). A diferencia de los contratos tradicionales, que dependen del sistema legal para hacer cumplir los términos contractuales de manera retroactiva, los contratos inteligentes fueron concebidos para proporcionar mecanismos de seguridad proactivos, asegurando el cumplimiento a través de reglas de ejecución predefinidas y automatizadas. Szabo reconoció que, si bien los contratos inteligentes podrían reducir significativamente la necesidad de mecanismos de aplicación legal, nunca podrían eliminar por completo la necesidad de la discreción humana en asuntos legales complejos.

Szabo fue muy específico al describir cómo los contratos inteligentes podrían implementarse técnicamente. Describió varios métodos criptográficos, incluyendo criptografía de clave pública, firmas digitales, firmas ciegas y pruebas de conocimiento cero, que podrían utilizarse para asegurar los acuerdos entre partes. A su vez, enfatizó que para que los contratos inteligentes sean confiables y funcionales en aplicaciones del mundo real, deben ser dignos de confianza y resistentes tanto a ataques deliberados como a interrupciones involuntarias.

- **Funcionamiento y alcance**

Los contratos inteligentes funcionan como acuerdos formalizados en código. El contrato inteligente actúa como la lógica central de gobernanza/negocio de cualquier aplicación descentralizada, conteniendo un conjunto de reglas predefinidas bajo las cuales los participantes acuerdan interactuar. Los contratos inteligentes son ejecutados y verificados por todos los nodos participantes de la red, permitiendo estructuras de gobernanza transparentes y verificables, haciendo que los acuerdos sean públicamente auditables y se hagan cumplir sin intermediarios. A diferencia de los contratos tradicionales que requieren una intervención legal después de un incumplimiento, los contratos inteligentes reducen los riesgos al automatizar la aplicación de antemano, imposibilitando los incumplimientos e incrementando económicamente su costo.

Pueden visualizarse como una caja fuerte criptográfica que desbloquea activos digitales, derechos de acceso o privilegios de gobernanza solo si se cumplen las condiciones predefinidas. Estas condiciones se activan mediante entradas de datos en la cadena (on-chain) o fuera de la cadena (off-chain<sup>13</sup>) que son verificados colectivamente por la red. En lugar de depender de la supervisión humana, la ejecución es automatizada y aplicada colectivamente. En caso de que la implementación se realizara correctamente, los contratos inteligentes pueden proporcionar mayores garantías de seguridad que los contratos o acuerdos legales tradicionales, ya que reducen los costos asociados con la auditoría y la aplicación (Voshmgir, 2020).

El alcance de los contratos inteligentes abarca desde acuerdos bilaterales simples hasta estructuras de gobernanza complejas con múltiples partes interesadas. Pueden utilizarse para facilitar la emisión de tokens o para dirigir estatutos organizacionales descentralizados complejos codificando la arquitectura de la toma de decisiones. Las Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAOs) representan una de las aplicaciones más complejas de los contratos inteligentes, donde los estatutos, reglamentos y reglas de gobernanza de una organización se hacen cumplir a través de código autoejecutable en lugar de estructuras de gestión tradicionales. Los contratos inteligentes permiten la gestión colectiva de tareas, pagos y acuerdos, reduciendo el riesgo de fraude o sesgos humanos. Además, pueden mitigar problemas de agencia en las organizaciones al imponer mecanismos de gobernanza transparentes y minimizar las ineficiencias burocráticas (Del Bollo, 2020).

Es importante destacar que los contratos inteligentes no son inherentemente inteligentes como tampoco equivalentes a contratos legales en el sentido técnico jurídico. Un contrato inteligente solo puede ser tan "inteligente" como su programación original, lo que significa que es simplemente un conjunto de reglas automatizado que aplica condiciones predefinidas. En lugar de ser flexible o adaptable, un contrato inteligente funciona como un burócrata robot que aplica estrictamente las condiciones sin discreción humana. La integración de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) en los contratos inteligentes podría, en el futuro, hacerlos verdaderamente inteligentes (Ouyang, Zhang, & Wang, 2022). Además, los contratos inteligentes no reemplazan inherentemente el sistema legal, aunque aporten a que la aplicación de los contratos resulte mucho más efectiva. En la actualidad, persisten una serie de desafíos tecno- legales sin resolver, particularmente en lo que respecta a garantizar que los contratos inteligentes sean legalmente vinculantes y cumplan con los requisitos jurisdiccionales. A efectos de que los contratos inteligentes funcionen como acuerdos legalmente exigibles, deviene necesaria la colaboración interdisciplinaria entre abogados, desarrolladores, legisladores, etc. A su vez, se

---

<sup>13</sup> A través de Oráculos.

requieren mecanismos avanzados de resolución de disputas descentralizados para introducir flexibilidad y supervisión humana, permitiendo excepciones y arbitraje cuando sea necesario (Voshmgir, 2020).

- **Consideraciones sobre su aplicabilidad**

Conforme lo señalado con anterioridad, una vez que se cumplen los criterios establecidos por las partes en un contrato determinado (p/ej. la transferencia de propiedad o el pago de un servicio) enmarcado en un Smart Contract, este se ejecutará automáticamente y también será susceptible de modificaciones en caso de que las partes manifiesten su voluntad en tal sentido, manteniendo un registro de todas las versiones y enmiendas del contrato en Blockchain.

En línea con lo anterior, los criterios establecidos a priori para un Smart Contract, incluyen aquellas condiciones definidas por las partes de común acuerdo, los que podría incluir desde pagos hasta incluso las aprobaciones gubernamentales necesarias para perfeccionar una transacción determinada si ese fuese el caso. Estas características propias de los Smarts Contracts pueden traducirse en un ahorro concreto de tiempo y costos en la interpretación de términos legales y el seguimiento de registros, además de permitir que las autoridades de aplicación accedan a determinadas secciones de los contratos para auditar o aprobar previamente el tratamiento fiscal.

No obstante, la determinación de los criterios de los Smart Contracts, los desafíos relativos a los mismos se concentran principalmente en el procesamiento de una amplia variedad de transacciones multi partes, mediante la estandarización de acuerdos, términos y condiciones convencionales diversos y variados.

Los contratos comerciales tradicionales, por su naturaleza, son documentos específicos que se negocian entre partes con intereses diversos, a menudo contrapuestos. Las partes contractuales pueden operar en diferentes segmentos de la industria con diferentes modelos de negocio, pueden procesar los pagos de diversas formas, entre otras prácticas distintas y verse afectados por la subjetividad inherente del lenguaje. De modo que, suele presentarse una suerte de ausencia de estandarización del lenguaje o de los términos contractuales (Padilla Sánchez, 2019). De este modo, los Smart Contracts deben ser capaces de integrar una gama de variables contractuales, como las relaciones con las contrapartes, la información confidencial, los términos, las reglas y las restricciones previstas. Sin perjuicio de lo anterior, las transacciones en el plano real, la forma en que se producen no proyecta tal variabilidad. Las transacciones tienden a ser algorítmicas: en general, un evento particular (como la entrega de un producto o la prestación de un servicio) desencadena un resultado predeterminado (como el pago de un monto).

En este contexto factual “algorítmico”, los Smart Contracts resuelven el problema de la no estandarización representando las variables de transacción como 'hechos' que luego se expresan o procesan a través de fórmulas que están codificadas en el contrato en cuestión (GuildOne. (2019). *Contracks: GuildOne's Smart Contract Engine for Corda*). Estos hechos, suelen consistir en información que se conoce en el momento en que se acuerda el contrato que define la transacción regida por el contrato y que no cambia durante su vigencia.

Por ejemplo, en un caso de pago de regalías de petróleo y gas, estos hechos incluirían:

- Las partes del contrato,
- El rol de las partes: obligado al pago, beneficiario del pago, etc.
- El pozo o los pozos productores a los que se aplica el contrato,
- El producto que se está produciendo (petróleo o gas),
- La cantidad de barriles que se está produciendo,
- El período de tiempo de producción,
- La fórmula de pago, p/ej. X USD/barriles de petróleo producido,

Por otra parte, un concepto adicional y relevante en el universo de los Smart Contracts, es el de evento, o toda acción o suceso (como la entrega de producto) que definen y acuerdan las partes, y que una vez acontecido desencadena un resultado (como el cálculo del pago).

Los eventos pueden desencadenar resultados que luego sirven como eventos para eventos posteriores o derivados (como un pago a un tercero). En este caso, los resultados de un evento se “encadenan” para convertirse en una entrada para otro evento. Los eventos que se desencadenan por los resultados de eventos precedentes se conocen como “eventos derivados”. Los hechos y los eventos constituyen los criterios del Smart Contract.

#### ▪ [La Red de Contratos Inteligentes \(Ethereum\)](#)

La red Ethereum fue concebida como una plataforma de computación descentralizada, un "Turing-complete cryptographic ledger" (Ethereum.org, s.f.) que va más allá de las transacciones básicas, capaz de emitir y gestionar cualquier tipo de token. El propósito inicial era generalizar las innovaciones de blockchain permitiendo contratos arbitrariamente complejos y agentes autónomos, en lugar de limitarse a tipos de transacción específicos. La arquitectura de Ethereum fue diseñada para una flexibilidad inherente, facilitando la ejecución de cualquier lógica de programación mediante un lenguaje de scripting interno (Ethereum.org, s.f.) y desacoplando el procesamiento de los Smart Contracts de la blockchain subyacente que asegura las transacciones. Esto se logra mediante la creación de la Ethereum Virtual Machine (EVM), un entorno de ejecución descentralizado que permite desarrollar y ejecutar cualquier lógica de programación de igual a igual. Ethereum fue la primera red

en ofrecer una infraestructura estandarizada para el desarrollo de contratos inteligentes, facilitando a los programadores la creación de acuerdos auto ejecutables con mínimo esfuerzo y sin necesidad de modificar el protocolo central de la blockchain. Esta innovación arquitectónica tuvo un profundo impacto, inspirando numerosos proyectos a desarrollar redes alternativas de contratos inteligentes, cada una introduciendo su propia arquitectura de sistema.

- **JOA y Smart Contracts**

Hasta aquí se han descrito una serie de conceptos que abarcan desde la definición de las características esenciales de Blockchain, hasta los elementos de un Smart Contract. En base a este marco teórico, se analizará la viabilidad de la aplicación de Smart Contracts a ciertas cláusulas y procesos de un JOA.

En este escenario, se presenta un interrogante: ¿en qué consiste un JOA? Como una primera y mínima aproximación, puede ser definido como un contrato comercial y operativo clave donde se establecen los términos y condiciones bajo los cuales dos o más partes (personas físicas o jurídicas) acuerdan colaborar para llevar a cabo un proyecto específico de exploración, desarrollo y/o producción de hidrocarburos que requiere una serie de procesos y acuerdos complejos. Una parte de dichos procesos y acuerdos pueden ser implementados como Smart Contracts, a prima facie, por ejemplo, la distribución entre las partes de costos o ingresos; la ejecución de cláusulas de auditoría que otorgan a las partes el derecho de auditarse entre sí para garantizar el cumplimiento del contrato, entre otras. Un JOA es ante todo un tipo de contrato multi partes, bajo el cual se gestionan activos de hidrocarburos y es por sus características, un acuerdo pasible de la solución que se analiza en el presente trabajo, en tanto, la automatización de algunas de sus cláusulas a través de Smart Contracts puede reducir disputas, mejorar la transparencia y agilizar el procesamiento de pagos y auditorías, aprovechando la naturaleza determinística e inmutable de la blockchain para hacer cumplir los términos del acuerdo de manera programática (Voshmgir, 2020). Un JOA, como un acuerdo multi partes caracterizado por cierta complejidad, se encuentra expuesto a la problemática señalada en la introducción, la que será tratada a continuación.

## **CAPITULO 2: LA PROBLEMÁTICA EMPIRICA**

### **2.1 Ineficiencias contractuales**

Conforme lo señalado en el capítulo precedente, ineficiencias son todas aquellas conductas que a la postre convergen en un aumento de los costos de transacción y en consecuencia terminan por amplificar el riesgo. El objeto de estudio de este trabajo estará delimitado a un ámbito específico dentro de un JOA propio de la industria de O&G. En esta línea, se analizará la problemática empírica

primeramente desde un enfoque general y conceptual, para luego considerar el impacto particular en el marco del objeto de estudio. Es importante destacar que la problemática a la que aquí se denomina en general como “ineficiencias”, resulta en un dato empírico constante observado a partir de la experiencia concreta en la materia. Esta circunstancia en cierta forma determina “la muestra”, en tanto que la población susceptible de observación es indefinida e inaccesible. Por este motivo, se llevará adelante un análisis de tipo exploratorio de datos orientado a comprender las características intrínsecas basado en la experiencia, de modo que el objetivo de este trabajo no consiste en realizar inferencias estadísticas formales sobre una población definida, sino identificar patrones, tendencias, relaciones y posibles anomalías dentro del conjunto de datos observado.

A fin de una mejor exposición de la temática, las ineficiencias se clasifican como sigue: (i) conductas psicológicas internas (sesgos cognitivos), (ii) variabilidad no deseada en el juicio (ruido), (iii) obstáculos sistemáticos y acumulativos (sludge).

- **Sesgos cognitivos y ruido**

En el marco de una entrevista realizada por Evan Nesterak (2021) en la publicación Behavioral Scientist, el premio Nobel de economía, Daniel Kahneman manifestaba que: *“Existen dos tipos de error equivalentes. Está el error promedio, que es el sesgo, y está la variabilidad del error, que es el ruido...el error cuadrático medio es igual al sesgo al cuadrado más el ruido al cuadrado. Esto convierte al ruido en un gran problema, porque sabemos que el sesgo lo es. De hecho, sospecho que, en muchas situaciones, el ruido es una fuente de inexactitud y error mucho más grave que el sesgo”*.

En línea con los fundamentos desarrollados por Kahneman, Sibony & Sunstein (2021) el error estadístico es aquel que refiere a la diferencia entre el valor obtenido a partir de una muestra y el verdadero valor de la población, o, en otras palabras, la inexactitud que surge al utilizar una muestra para hacer inferencias sobre una población más grande.

El error estadístico se compone de dos elementos: el sesgo y el ruido. Aquellos mecanismos psicológicos que causan errores sistemáticos en los juicios y decisiones de las personas, se denominan sesgos cognitivos y explican los eventos internos del individuo, esto es, por qué un individuo tiende a cometer un error. Los sesgos cognitivos representan básicamente desviaciones sistemáticas de la racionalidad en el procesamiento de la información y la toma de decisiones, constituyéndose como una suerte de fallas heurísticas. Estas predisposiciones mentales, por lo general inconscientes, actúan como atajos que, si bien pueden ser eficientes en ciertos contextos (Sunstein, 2022), conducen a errores predecibles en el juicio y la evaluación de situaciones complejas. A modo de ejemplo, como sesgos característicos, se puede mencionar al sesgo de

confirmación, el anclaje, la falacia de los costos hundidos, sesgo retrospectivo, aversión a la pérdida, etc. (Korteling & Toet, 2020).

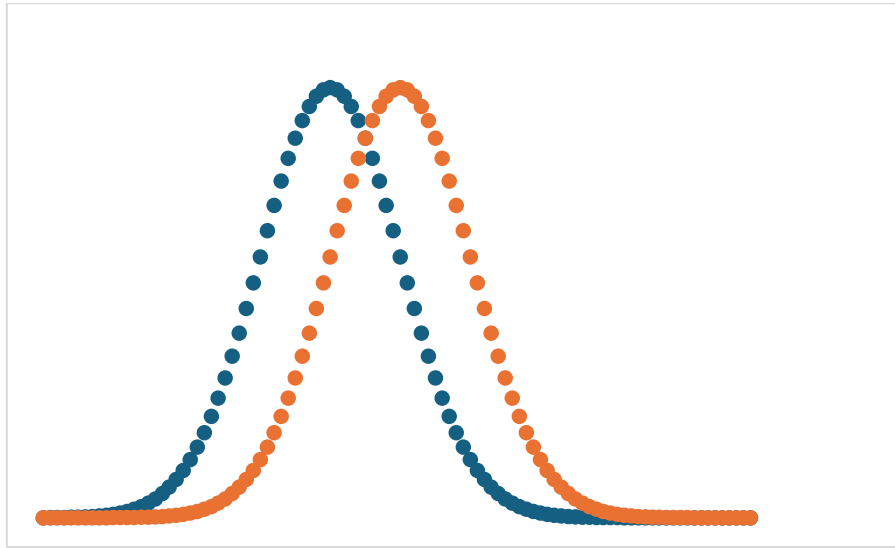
Por su parte, el ruido sistémico representa un fenómeno completamente distinto, ya que versa sobre diferencias individuales, no se produce al interior de un individuo, sino hacia él exterior, es intersubjetivo y se materializa como variabilidad entre individuos.

En los sistemas ruidosos los errores no se cancelan, sino que se suman. El ruido del sistema es inconsistencia, variabilidad no deseada y daña la credibilidad del sistema. Así, en términos matemáticos el error global (error cuadrático medio o ECM) será igual al sesgo elevado al cuadrado más el ruido elevado al cuadrado. De este modo, el sesgo y el ruido contribuyen por igual al ECM cuando la media de los errores (el sesgo) es igual a las desviaciones estándar de los errores (el ruido).

En este contexto, cuando la distribución de los juicios es normal, los efectos del sesgo y del ruido son iguales si el 84% de los juicios se encuentra por encima o por debajo del valor real, aquel valor objetivo que debería obtenerse en ausencia de error. Dicho de otra forma, cuando los errores en los juicios siguen una distribución en forma de campana de Gauss, existe un punto específico donde los efectos del sesgo y el ruido en la distribución general de los errores se vuelven comparables. Estadísticamente, esto sucede cuando aproximadamente el 84% de los juicios se sitúa consistentemente por encima (o por debajo) del valor real, aquí la tendencia sistemática a sobreestimar (sesgo) es tan influyente en la distribución de los errores como la dispersión aleatoria de sus predicciones (ruido). La comprensión de esta relación deviene crucial para identificar las fuentes primarias de error y desarrollar estrategias efectivas para mejorar la precisión de los juicios (Kahneman, Sibony & Sunstein, 2021).

En el gráfico a continuación se visualiza una distribución normal de errores de juicio centrada (en azul) y otra distribución desplazada por sesgos (en naranja), donde el 84% de los valores de la distribución sesgada caen por encima (o por debajo) del valor real cuando el sesgo es igual al desvío estándar, lo que en cierta forma ilustra que el sesgo es igual al desvío estándar y contribuye de igual forma al ECM. ¿Por qué importa esta relación en el marco de un JOA?, básicamente porque si el Operador o los socios hacen juicios sesgados o ruidosos, los errores se incrementan y por transitividad, los costos y conflictos también. Por ello, entender si los errores provienen de los sesgos o del ruido deviene relevante para tomar decisiones relativas a capacitación de los expertos que toman decisiones, elaboración de mejores procesos y reglas más claras.

Figura 2 – Sesgos y ruido en la distribución normal (fuente: elaboración propia)



La visualización simplificada del gráfico permite entender que el sesgo sistemático (p/ej. de los expertos) puede generar decisiones atadas a la heurística que atentan contra la objetividad, por su parte, el ruido (alta variabilidad en los juicios) implica decisiones inconsistentes entre casos similares. En ambos casos se produce el mismo efecto, un incremento del riesgo contractual, los conflictos entre socios del JOA y los costos de transacción.

- **La incidencia del ruido en los juicios de los expertos**

Conforme con lo anterior, el ruido es ante todo variabilidad no deseada en los juicios. La gestión de un JOA involucra a un conjunto de profesionales expertos (p/ej. abogados) que pueden estar a cargo de evaluar daños por incumplimientos contractuales, determinar penalidades, compensaciones o interpretar cláusulas contractuales complejas. Los juicios de estos expertos influyen directamente en decisiones y en la dinámica económica entre las partes del JOA. En este contexto, tanto los sesgos como el ruido sistemático dañan la calidad del juicio en igual medida, lo que implica que, para dotar de mayor calidad a las decisiones, resulta conveniente que la experiencia de los profesionales expertos intervinientes, en cierta manera se complemente con métodos o técnicas estructuradas, o, dicho de otro modo, algorítmicas, que se orienten a reducir tanto el sesgo como el ruido mediante protocolos y estandarización.

Ahora bien, como señalan Kahneman, Sibony & Sunstein (2021) en relación con el concepto mismo de ruido, este puede ser clasificado en: (i) ruido de nivel o aquella variabilidad de la media de los juicios emitidos por diferentes expertos (p/ej. ambigüedad de las escalas en una penalidad que habilita amplia variabilidad) o (ii) el ruido de patrón, aquella interacción estadística, que se manifiesta como una diferencia en las respuestas personales o idiosincráticas.

En el caso del ruido de nivel, donde se produce la dispersión de la media de los juicios emitidos por distintos evaluadores expertos ante un mismo estímulo, la inconsistencia puede originarse en la subjetividad de las escalas de medición, la polisemia del lenguaje empleado para expresar probabilidades o grados de certeza, o las diferencias en los puntos de referencia individuales de los expertos. El ruido de nivel refleja una falta de acuerdo en la magnitud central de la evaluación. Por otro lado, el ruido de patrón versa sobre cómo diferentes individuos responden a la misma información o a combinaciones específicas de factores. El ruido de patrón se manifiesta como interacciones estadísticas no sistemáticas, donde las respuestas idiosincráticas y las ponderaciones personales de la evidencia conducen a desviaciones en los patrones de juicio entre evaluadores, incluso cuando sus medias generales pudieran ser similares (p/ej. un experto más estricto en la interpretación del lenguaje contractual, otro que tiende a imponer penalidades más severas, etc.). La distinción entre las dos formas de ruido es importante para el diseño de las estrategias de mitigación ya que mientras el ruido de nivel puede abordarse mediante la estandarización de escalas y la clarificación del lenguaje, el ruido de patrón exige intervenciones de mayor complejidad orientadas a la homogeneización de los procesos de evaluación y la minimización de la influencia de factores idiosincráticos.

- **Sludge u obstáculos sistemáticos**

A efectos de completar la descripción de los tipos de ineficiencias comprendidos en la clasificación propuesta, resta el análisis de los obstáculos sistemáticos que se traducen en costos de transacción y amplificación del riesgo. Este tipo de ineficiencias pueden ser abarcadas bajo el término “sludge” (Thaler, 2018) que refiere a una suerte de “enlodamiento” que impide avanzar; las fricciones excesivas, las ineficiencias inherentes a la arquitectura de la elección; procesos operativos que imponen costos de experiencia o de transacción a los individuos o a las organizaciones, sin generar un valor proporcional a la carga impuesta (Sunstein, 2021). Estas fricciones, en general de naturaleza burocrática, cognitiva o procedimental, obstaculizan la consecución eficiente de objetivos deseados o la realización fluida de las transacciones. Por ejemplo, la exigencia de múltiples pasos de verificación redundantes para completar un proceso, donde cada paso adicional consume tiempo y esfuerzo sin un aporte significativo, o la necesidad de obtener aprobaciones de numerosos niveles jerárquicos para decisiones operativas rutinarias, generando demoras y un flujo de trabajo innecesariamente complejo, representan manifestaciones de sludge.

Este tipo de ineficiencias genera una serie de costos que comprenden, costos de búsqueda que son aquellos aspectos de la arquitectura de la elección que dificultan la adquisición de información relevante sobre diferentes opciones, por ejemplo, en el marco de un JOA, al momento de seleccionar un nuevo proveedor de servicios de perforación, la arquitectura de la información dentro del JOA

podría estar fragmentada, de modo que la información sobre proveedores precalificados podría estar dispersa en diferentes correos electrónicos, actas de reuniones pasadas y carpetas compartidas sin un repositorio centralizado y de fácil acceso. Así, esta circunstancia obliga a los equipos de cada socio a invertir tiempo significativo buscando, consolidando y verificando la misma información, incurriendo en costos de búsqueda para identificar las opciones viables.

A su vez, el sludge provoca costos vinculados a la dificultad para evaluar ventajas y desventajas de diferentes opciones. En el caso de adquisición de nueva tecnología de sísmica, por ejemplo, ante diversas propuestas de diferentes proveedores, la información proporcionada por cada uno podría utilizar métricas y formatos distintos, lo que dificultaría la comparación directa de sus capacidades técnicas, costos a largo plazo, historial de rendimiento y términos contractuales. La falta de un marco de evaluación estandarizado dentro del JOA obliga a los equipos técnicos y financieros de cada socio a dedicar tiempo y recursos a interpretar y analizar la información para poder evaluar adecuadamente las ventajas y desventajas relativas de cada opción.

Este tipo de ineficiencias también genera costos de implementación que dificultan obtener lo que se quiere y evitar lo que no se quiere. Por ejemplo, ante un proceso para aprobar una modificación al plan de desarrollo de un activo determinado, cada socio del JOA requiere de aprobación interna secuencial y múltiple (técnica, económica, operativa) lo que puede ocasionar cuellos de botella en la disponibilidad de los firmantes o la necesidad de presentar la misma información en diferentes formatos para cada instancia, esto a la postre dificulta la obtención de la aprobación deseada en un plazo razonable y puede retrasar la implementación de mejoras operativas o la respuesta a problemas técnicos urgentes.

Por último, vale mencionar los costos psicológicos (Shahab & Lades, 2021), u aquellos aspectos de la arquitectura de la elección que crean experiencias negativas como estrés y pérdida de autonomía. En la resolución de controversias económicas no significativas entre los socios del JOA, por ejemplo, en la interpretación de costos reembolsables, la falta de un mecanismo claro y objetivo de resolución produce una dependencia de negociaciones ad-hoc entre las partes y de la influencia de la parte con mayor poder de negociación, que puede generar estrés y frustración en los equipos de las compañías más pequeñas.

Estos ejemplos ilustran cómo la arquitectura de la elección y los procesos de un JOA se ven afectados por ineficiencias u obstáculos sistemáticos (sludge), que a su vez configuran la causa de costos de transacción que desarticulan la toma de decisiones informada, la agilidad operativa y el “bienestar” de las partes. La identificación y mitigación de estos costos es crucial para la sustentabilidad de la colaboración entre las partes del JOA a largo plazo.

## 2.2 Juicios e higiene de las decisiones

La experiencia de los expertos valga la redundancia, posee un valor intrínseco que radica principalmente en la capacidad para reconocer patrones, razonar por analogía con casos previos, así como formular y confirmar hipótesis con rapidez. Es tal vez el factor determinante para asignar responsabilidades y ownership sobre ciertos procesos y contratos. El JOA, como fuera señalado con anterioridad, es un contrato multi partes gestionado por diversos expertos (p/ej. los representantes asignados por las partes, los abogados) en su interpretación y ejecución. La confianza de los expertos se nutre de la experiencia subjetiva de los juicios que se hacen con creciente fluidez y facilidad en parte porque se asemejan a los juicios hechos en casos similares en el pasado. Los juicios de los expertos ocupan un espacio intermedio entre las cuestiones de hecho o de cálculo, por un lado, y las cuestiones de gusto u, opinión, por otro lado. Están definidas por lo que Khaneman (2021) denomina una “expectativa a un desacuerdo limitado”.

Hasta aquí se ha visto que bajo ciertas circunstancias tantos los sesgos cognitivos como el ruido -de nivel o de patrón- contribuyen al error total, configurándose además en este último caso, una complejidad adicional vinculada a su imperceptibilidad y dificultad de diagnóstico, lo que suma cierta incertidumbre a los juicios realizados por expertos, que como mencionáramos más arriba, se encuentran definidos por una expectativa de desacuerdo limitado. En este escenario, surgen una serie de interrogantes: primero, ¿cómo diagnosticar el ruido?, en segundo lugar, ¿cómo optimizar el juicio de un experto considerando estos factores distorsionantes?

En este punto, deviene relevante señalar que, parte de la expectativa a un desacuerdo limitado, está dada por la confianza de los expertos para con su propia intuición. Por ello, mediante un proceso de “higiene de las decisiones” que comprende cuatro etapas definidas (análisis, comparación, evaluación y verificación) se apunta a complementar la intuición (Kahneman, Sibony & Sunstein, 2021). Así, los algoritmos aportan al proceso de higienizar una decisión y funcionan no como estándares sino como normas. La diferencia, aunque sutil, no es menor, ya que los estándares pueden implicar altos costos para las decisiones, debido a que aquellos responsables de tomar la decisión deben ejercer el juicio y darles contenido a los estándares; mientras que las normas se encuentran dotadas de cierta automatización per se. Los estándares delegan el juicio sustantivo a los tomadores de decisión, lo que puede generar costos asociados al tiempo, la interpretación y la potencial inconsistencia, por ejemplo, en el marco de un JOA las decisiones relativas a procesos de contratación que se encuentran sujetas a la aprobación del Comité Operativo, donde la deliberación implica tiempo y variabilidad. Por el contrario, las normas incorporan la lógica de decisión en reglas objetivas y, en general, automatizadas,

minimizando la necesidad de juicio discrecional en cada aplicación. En el caso de decisiones que requieren cierta repetición, se presentan ventajas relevantes con la implementación de normas mecanizadas mediante algoritmos que suplanten o en su defecto complementen los juicios de los expertos. Como fuera mencionado, la confianza exagerada de las personas en su juicio predictivo subestima su propia ignorancia objetiva (Kahneman, 2011) así como sus propios sesgos. La ventaja que presentan las normas es que se encuentran exentas de ruido. La visión estadística permite percibir y diagnosticar el ruido, pero esa visión estadística no es natural, ya que las personas, inclusive los expertos, prefieren las historias causales y confían en su propio juicio.

Por estos motivos, el juicio puede ser mejorado mediante el uso adecuado de algoritmos en un proceso de “higiene de las decisiones” que incluya una selección de tareas que puedan completarse sobre la base de información escrita y que puedan ser expresadas numéricamente. Un ejemplo de este tipo de soluciones algorítmicas puede concretarse a través de un proceso de corrección de las predicciones emparejadas, que se describe brevemente a continuación:

- (i) El proceso comienza con una primera estimación basada en la intuición, luego, se calcula el promedio de varias estimaciones si participan diferentes socios en la decisión;
- (ii) Cada participante evalúa cuán confiable considera su propia información para realizar la estimación;
- (iii) Se realiza un ajuste que mueve la estimación inicial de cada participante desde su propia perspectiva hacia un valor de referencia externo, pero solo hasta un punto que refleje la confianza que tiene en su propia información.

En el marco de un JOA, vale considerar, por ejemplo, la aplicación de una multa por incumplimiento de un hito clave del cronograma de trabajos. El Operador y los No-Operadores realizarán una estimación intuitiva del monto de la multa que consideran apropiado, basándose en su experiencia y una lectura inicial del contrato. A continuación, se calculará la media de estas estimaciones iniciales y cada socio determinará el porcentaje de confianza que tiene en su propia estimación, considerando la especificidad de la información contractual que posee y su interpretación de los precedentes. Finalmente, la estimación inicial de cada socio se ajusta hacia un valor de referencia externo (p/ej., el promedio de multas similares aplicadas en el JOA u otros contratos similares), pero el grado de ajuste será menor si el socio tiene una alta confianza en su propia información y mayor si su confianza es baja. El valor ajustado refleja una posición influenciada por la intuición inicial como por la referencia externa, ponderada por la autoevaluación de la calidad de la información.

El método descrito combina el juicio humano con una corrección sistemática y deviene compatible para automatizar decisiones que en un JOA normalmente son subjetivas o de alta variabilidad, como, por ejemplo, la aplicación de multas ejemplificada en el párrafo anterior; la aprobación automática de AFE (cuando no hay acuerdo pleno); resolución de pequeñas controversias económicas (p/ej. sobre costos reembolsables).

Continuando con el ejemplo anterior, cada parte del JOA propondría entonces una estimación intuitiva del monto de multa (o cualquier otro valor de decisión) manifestando cuánto valor diagnóstico le asigna a su información (% de confianza que le dan a su propia estimación respecto a la referencia externa o benchmark). En este contexto, surge el Smart Contract como una herramienta para aplicar la solución de higiene, ya que ajustaría automáticamente la predicción hacia un valor de referencia externo (benchmark) y promediaría todas las estimaciones ajustadas.

El Smart Contract debe prever la aprobación condicionada basada en las estimaciones de ambas partes, corrigiendo las predicciones de forma objetiva para finalmente establecer un valor objetivo (que podría ser la multa, el presupuesto aprobado, o cualquier valor económico relevante). En el marco de un JOA, donde múltiples participantes expertos tienen la responsabilidad de emitir juicios profesionales (por ejemplo, evaluar un AFE en términos financieros, definir cash calls o aplicar penalidades sujetas a un margen de interpretación o de grado), los sesgos y el ruido impactarán en particular sobre aquellos procesos donde se requiere emitir juicios basados en criterios no objetivos, como el análisis de cumplimiento normativo, la aprobación de proveedores o la evaluación de controversias internas. Aspectos como la falta de escalas claras en las penalidades, el uso de términos vagos en las cláusulas (p/ej. "probablemente", "en condiciones razonables") y la confianza excesiva en el criterio individual de expertos contribuyen a su intensificación.

A los efectos de implementar un curso de mitigación, se ha señalado que la "higiene de las decisiones" mediante procesos sistemáticos de análisis, comparación y verificación o a través del uso de algoritmos o Smart Contracts que actúen como normas predefinidas, permite reducir la variabilidad, eliminar el ruido de patrón y de nivel, y mejorar la consistencia y transparencia de las decisiones tomadas en el marco de un JOA.

Conforme lo señalado por Herbert Simon (1972) y su teoría de la racionalidad limitada, los agentes no siempre optimizan sus decisiones debido a restricciones cognitivas y de información, exacerbando los problemas cuando los procesos se enfrentan a múltiples iteraciones sin mecanismos de control normativo. Así, la ausencia de reglas mecánicas y la alta dependencia del juicio humano aumentan los costos, generan conflictos y disminuyen la credibilidad del sistema de gobierno dentro del JOA. En la industria de O&G, donde los Operadores y los No-Operadores deben tomar decisiones recurrentes bajo presión de tiempo, con

información imperfecta y en entornos de incertidumbre, la racionalidad limitada sirve para fundamentar que, ante la ausencia de mecanismos estructurados de decisión, los juicios discrecionales pueden derivar en sesgos sistemáticos, en ruido y en la escalada de conflictos. En este sentido, el diseño de procesos normativos o automatizados puede compensar las limitaciones cognitivas, mejorando la eficiencia, reduciendo los costos de coordinación y aumentando la previsibilidad de las decisiones en el marco del JOA.

## CAPITULO 3: BLOCKCHAIN & JOA

### 3.1 Acuerdos de operación conjunta (JOA): Características

En este capítulo el análisis se centrará en la viabilidad de automatización de ciertos procesos y cláusulas específicas de un JOA, a los efectos de determinar si es posible afirmar que las alteraciones en la ecuación costo/beneficio se traducen efectivamente en ventajas para las empresas. Conforme lo establecido previamente, resulta importante definir la problemática como así también la ventaja que se obtendría aplicando el tipo de automatización descripta. A tales fines, se establecerá en qué consiste un JOA y se detallarán los institutos y cláusulas que eventualmente reportarían un beneficio si fueran objeto de automatización.

Antes de continuar, resulta imperioso proveer una definición de JOA para complementar la primera y acotada aproximación efectuada con anterioridad. En este sentido, el JOA puede ser definido como un contrato vinculante entre dos o más partes que acuerdan combinar sus recursos, conocimientos y experiencia con el propósito de emprender conjuntamente actividades específicas relacionadas con la exploración, desarrollo y/o producción de petróleo y gas, mientras que cada parte mantiene su personería jurídica separada, contribuye a los costos y comparte la producción o los ingresos resultantes conforme los términos acordados y sus respectivos porcentajes de participación. El JOA establece el marco operativo, la estructura de gobierno, las obligaciones financieras, la asignación de responsabilidades y los procedimientos para la toma de decisiones, así como también el marco para la resolución de disputas a lo largo del ciclo de vida del proyecto de la operación conjunta (Amr, 2023).

En la estructura típica de un JOA, usualmente una de las partes (aquella con mayor expertise operativo) será designada como el Operador, quien tendrá a su cargo la responsabilidad de llevar a cabo y gestionar las operaciones en el área o activo de interés que comprende el JOA, en nombre y por cuenta de todos los participantes del JOA (incluyendo a sí mismo). El Operador actúa como una suerte de agente gestor y administrador de las actividades conjuntas, sujeto a los términos y condiciones establecidos en el JOA y a las decisiones tomadas por el Comité Operativo que es el órgano de gobierno del JOA.

Las funciones del Operador abarcan la gestión integral de las operaciones. A título ejemplificativo, el Operador es el encargado de (i) la planificación y presupuesto; (ii) la ejecución de las operaciones; (iii) la selección de contratistas y personal necesarios para llevar a cabo las operaciones de manera eficiente y segura; (iv) el cumplimiento de las leyes, regulaciones y permisos aplicables; (v) gestionar las cuentas bancarias conjuntas y los fondos aportados por las partes; (vi) realizar pagos a proveedores y contratistas; (vii) llevar registros contables precisos de todos los costos e ingresos relacionados con las operaciones conjuntas; (viii) preparar y distribuir informes financieros periódicos a los No-Operadores; (ix) realizar inspecciones y asegurar el mantenimiento adecuado de los activos; (x) recopilar, analizar y gestionar todos los datos técnicos y operativos generados por las actividades conjuntas (datos sísmicos, registros de pozos, datos de producción, etc.)<sup>14</sup>.

Es importante destacar que, si bien el Operador tiene la responsabilidad de la gestión, sus acciones están generalmente sujetas a la supervisión y aprobación del Comité Operativo, donde todos los participantes tienen representación y pueden influir en las decisiones estratégicas y operativas.

En la industria de O&G, el JOA es una de las herramientas contractuales fundamentales para el desarrollo conjunto de un activo de petróleo y gas; esto es así debido a que el desarrollo de activos petroleros presenta un escenario de alto riesgo que se manifiesta por ejemplo, durante la etapa de exploración donde existen altas probabilidades de que los pozos perforados contengan agua y no hidrocarburos, también por fallas geológicas que pueden alterar drásticamente la ecuación económico-financiera de los proyectos, eventos de fuerza mayor de diversa índole etc. Bajo esta premisa, al compartir el proyecto juntamente con otros socios, cada empresa reduce individualmente su exposición financiera y operativa ante un posible fracaso, distribuyendo su exposición al riesgo.

Por otra parte, este tipo de acuerdo de operación conjunta permite a las empresas compartir los costos de inversión (CAPEX y OPEX<sup>15</sup>), lo que deviene sustancial para pequeñas y medianas empresas que debido a estas particularidades se ven imposibilitadas de obtener el apalancamiento necesario para financiar grandes operaciones de manera independiente; a su vez un JOA también funciona como una herramienta que contribuye a la complementariedad técnica y operativa de las empresas asociadas, por ejemplo, una parte aporta expertise técnico en perforación horizontal, mientras que otra parte tiene un know how específico de las características de la zona geográfica donde se desarrollarán las operaciones, y otra parte tiene experiencia en la gestión eficiente de la logística. Adicionalmente, el JOA también puede resultar una suerte de llave de acceso a permisos de exploración y concesiones, para aquellas personas físicas o jurídicas que no pudieron acceder directamente

---

<sup>14</sup> Las funciones del operador suelen estar detalladas en el art. 4.1 del Modelo JOA – AIEN 2023.

<sup>15</sup> Capital Expenditure & Operational Expenditure

mediante adjudicación al permiso de exploración o la concesión en cuestión en el marco de una licitación como prevé la ley 17.319<sup>16</sup>.

Considerando lo expuesto hasta aquí, se pasará a analizar en particular los procesos y cláusulas que forman parte de un JOA, respecto de los cuales interesa constatar la viabilidad de la aplicación de Smart Contracts en su funcionamiento. En primer término, las Autorizaciones de Gasto, o AFE por sus siglas en inglés<sup>17</sup>, luego el caso de los Cash Calls o pedidos de fondos; el procedimiento de contratación, la aplicación de penalidades y finalmente algunos aspectos relativos a la cláusula de Compliance<sup>18</sup>. En todos estos casos, se utiliza como guía el modelo AIEN 2023 International Model Joint Operating Agreement.

### 3.2 Solicitud de autorización de fondos (AFE) y Cash calls

Un AFE consiste en un documento formal y detallado preparado por el Operador y presentado a los No-Operadores, usualmente en el marco de un Comité Operativo para su aprobación previa a la realización de ciertas operaciones conjuntas o proyectos específicos que implican costos significativos. Un AFE funciona como una solicitud de autorización y un presupuesto estimado para una actividad particular dentro del área de operaciones que comprende el JOA. Su propósito principal consiste informar a los No-Operadores sobre la naturaleza, el alcance y el costo proyectado de la operación propuesta, permitiéndoles así evaluar su viabilidad económica y técnica, y finalmente decidir su participación en dicha operación asumiendo la parte proporcional de los costos, en línea con el porcentaje de participación de cada uno. Este documento tiene por finalidad, primero, aportar a la transparencia y el acuerdo previo entre las partes del JOA con respecto a los gastos planificados, y segundo, prevenir disputas posteriores sobre la justificación y el monto de los costos incurridos. A continuación, se propone un ejemplo hipotético y práctico para una mejor comprensión de lo anterior.

- Se parte de la premisa de un JOA con la participación de tres empresas AA (40% de participación), BB (25%) y CC (35%). El Operador (AA) identifica la necesidad de perforar un pad de dos pozos horizontales<sup>19</sup> dentro del área de concesión, a fin de evaluar un reservorio previamente identificado. Antes de movilizar la plataforma o equipo de perforación (el “Rig”) y comenzar las operaciones, el Operador deberá preparar y enviar un AFE a BB y CC, que incluirá, como mínimo, la siguiente información: (i) nombre del proyecto; (ii) objetivo; (iii) ubicación y coordenadas específicas de los pozos; (iv) descripción detallada de las fases de las operaciones (p/ej. movilización, perforación de la sección superficial,

---

<sup>16</sup> Ley de Hidrocarburos

<sup>17</sup> Authorization for Expenditure conforme al Modelo de JOA AIEN – 2023.

<sup>18</sup> Ídem

<sup>19</sup> Plataforma sobre un área de superficie concentrada desde la cual se perforan múltiples pozos horizontales.

perforación de la sección intermedia, perforación del objetivo, pruebas de formación, posible completación, desmovilización); (v) lista detallada de costos estimados (p/ej. tarifa diaria del Rig, servicios de lodo, servicios de cementación, alquiler de herramientas, personal de perforación, pruebas de pozo, transporte, seguros, costos administrativos asociados); (vi) cronograma estimado de duración prevista para cada fase de las operaciones; (vii) participación en los costos; (viii) aprobaciones (firma manual o digital).

- Una vez que las compañías BB y CC aprueban el AFE, el Operador (AA) estará autorizado a proceder con la perforación de los pozos y a incurrir en los costos detallados en el AFE. En caso de que durante la operación surgieran costos significativamente mayores a los estimados, el Operador deberá emitir un AFE suplementario para obtener la aprobación de los No-Operadores antes de incurrir en esos gastos adicionales. En resumen, el AFE es una herramienta crucial para la planificación, comunicación y control de costos dentro de un JOA, asegurando que todos los socios estén informados y de acuerdo con las inversiones significativas antes de que se realicen.

Considerando la operatoria del AFE, a través de tecnología Blockchain se podría optimizar y fortalecer este proceso, mediante algunas aplicaciones concretas:

- Automatización del flujo de aprobación: El AFE podría codificarse como un Smart Contract en un Consorcio (dado que involucra a múltiples partes conocidas y con permisos). Los términos del AFE (costos estimados por fase, cronograma, porcentajes de participación) se definirían directamente en el código del contrato.
- Disparadores de aprobación automática: El Smart Contract podría incluir disparadores condicionales para la aprobación. Por ejemplo, una vez que el Operador carga la información requerida (descripción detallada, lista de costos, cronograma), el contrato podría notificar automáticamente a los No-Operadores. La aprobación (firma digital) por parte de los No-Operadores dentro de un plazo predefinido podría activar automáticamente el siguiente paso en el flujo de trabajo.
- AFE suplementarios automatizados: En caso de sobrecostos significativos, el Operador podría crear un AFE suplementario que se vincule al AFE original en la Blockchain. El Smart Contract podría gestionar el proceso de aprobación de este suplemento, requiriendo nuevamente la aprobación de los No-Operadores antes de que se autoricen los gastos adicionales.

- Almacenamiento seguro y auditable: Una vez aprobado, el AFE quedaría registrado de forma inmutable en la Blockchain. Esto proporcionaría un registro único y auditable de todos los términos acordados, reduciendo a cero las probabilidades de disputas sobre versiones de documentos o información.
- Visibilidad en tiempo real: Todas las partes del JOA tendrían acceso en tiempo real al AFE y su status (p/ej. draft/en borrador, enviado para aprobación, aprobado, en ejecución). Esto mejora la transparencia y la comunicación entre las partes.
- Seguimiento del cumplimiento: El Smart Contract podría rastrear el progreso de las operaciones en relación con el cronograma y los costos estimados definidos en el AFE, alertando a las partes sobre posibles desviaciones.
- Distribución automática de obligaciones de pago: Una vez que se incurren en los costos aprobados bajo el AFE, el Smart Contract podría calcular automáticamente la parte proporcional que cada socio debe aportar, basándose en los porcentajes de participación definidos en el AFE y en el JOA subyacente.
- Validación Automática con datos de campo: La Blockchain podría integrarse con datos operacionales en tiempo real (por ejemplo, datos de producción, datos de perforación) a través de IoT<sup>20</sup> u oráculos. Esto podría permitir la validación automática de ciertos hitos o costos definidos en el AFE, agilizando aún más el proceso de aprobación de pagos o la activación de fases posteriores del proyecto.

En este punto deviene relevante poner el foco en la funcionalidad de los Oráculos, que pueden definirse como aquellos ecosistemas completos que permiten la recopilación de datos externos y su transferencia e inserción en la aplicación descentralizada (Caldarelli, 2022). En el contexto de Blockchain y los Smart Contracts, un oráculo opera como una entidad que sirve un puente de comunicación bidireccional entre el entorno aislado de Blockchain y el mundo exterior a fin de facilitar la ejecución determinista de Smart Contracts al proporcionar los datos verificados y seguros del mundo exterior “off-chain”.

El Oráculo permite que los Smart Contracts -que son sistemas inherentemente cerrados- interactúen con eventos y datos externos (p/ej. precios de mercado, condiciones climáticas, resultados de eventos, o el cumplimiento de hitos contractuales) a efectos de activar sus lógicas programadas, ejerciendo una función de garantes de los datos verificados que interactúan con Blockchain. En

---

<sup>20</sup> Internet of Things comprende una red de objetos físicos, dispositivos y otros elementos que están integrados con sensores y software que les permite conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos.

este contexto vale mencionar el caso de Chainlink que es una red de oráculos descentralizada (DON) cuya función principal radica en permitir que los Smart contracts que operan en la blockchain de forma aislada accedan a datos off chain mediante una red de operadores de nodos independientes. Chainlink recolecta, verifica y entrega estos datos a las blockchain, asegurando la minimización de la confianza como principio rector (debido a su carácter descentralizado), con el objeto de reducir los efectos adversos de la corrupción o fallas sistémicas, incluso de una DON maliciosa, operando bajo el "principio de menor privilegio"<sup>21</sup> que introduce mecanismos como la autenticación de fuentes de datos (firmas digitales), informes de minorías de las DON (alertas de nodos honestos sobre irregularidades de la mayoría) y "guard rails" (mecanismos de monitoreo y seguridad en la cadena principal); como también los staking a efectos de incentivar económicamente a los nodos a comportarse correctamente, buscando un "impacto de staking superlineal"<sup>22</sup> que haga inviable corromper la red (Breidenbach et al., 2021).

Retomando la línea conceptual general, desde una perspectiva técnica, un oráculo comprende tres partes o roles:

- (i) fuente de datos desde donde se recopilan y almacenan los datos, esta puede ser una interfaz de programación de aplicaciones web (API), un sensor físico (p/ej. trackeo de camiones de transporte de crudo para exportación) o inclusive una persona humana con conocimiento de un evento o información específica (p/ej. un experto certificador en normas ISO o un supervisor);
- (ii) canal de comunicación o "nodo" que recopila datos de la fuente de datos y los entrega a un Smart Contract para que este último pueda ejecutarse; a veces, los nodos del Oráculo coinciden con los nodos de la Blockchain y;
- (iii) el Smart Contract en cuestión, que contiene el código que establece cómo se pueden gestionar los datos recopilados.

La forma de interrelación entre estas tres partes que conforman el Oráculo dependerá en cada caso, sin embargo, el esquema descrito donde todas las partes mencionadas o roles son ejecutados por la red (p/ej. Ethereum, Tron) suele ser típico cuando la Blockchain sirve de soporte a la ejecución de Smart Contracts, lo que correlaciona con el objeto de estudio, donde Blockchain es la

---

<sup>21</sup> Principle of Least Privilege (PoLP) concepto fundamental en seguridad de la información y ciberseguridad que establece que a un usuario, proceso o programa solo se le deben conceder los permisos y el acceso a los recursos que son estrictamente necesarios para realizar sus funciones legítimas exclusivamente.

<sup>22</sup> Diseño de seguridad donde la fortaleza o resistencia de la red frente a ataques crece exponencialmente (o a una tasa mayor que lineal) a medida que aumenta la cantidad de valor staked, haciendo que la red sea extremadamente costosa y difícil de comprometer.

tecnología base para ejecutar contratos inteligentes en procesos puntuales enmarcados en un JOA.

Otra posible aplicación práctica de Smart Contracts con relación al AFE surge en aquellos casos donde existe cierta variabilidad entre las partes del JOA en cuanto a la aprobación del AFE. En estos casos, una solución posible vía Smart Contracts sería a través de la automatización mediante la corrección de predicciones que vimos previamente. Vale destacar que como *conditio sine qua non* para la viabilidad de esta modalidad, es importante que el JOA prevea en términos vinculantes la aprobación condicionada basada en las estimaciones de las partes, corrigiendo las predicciones de forma objetiva y que las partes renuncien expresamente a cualquier objeción futura respecto del costo aprobado mediante este procedimiento. Bajo esta modalidad, en caso de que las partes no alcancen un acuerdo respecto del presupuesto de un AFE dentro de los plazos previstos, se aplica un procedimiento de aprobación automática donde cada parte debe presentar una estimación intuitiva del costo del AFE junto con una evaluación del valor diagnóstico de su información; cada una de estas estimaciones se ajustan hacia el presupuesto de referencia (benchmark) en función del valor diagnóstico declarado<sup>23</sup>, de modo que, el costo aprobado del AFE será el promedio simple de las estimaciones ajustadas. El Smart Contract registrado en la Blockchain del JOA formalizará automáticamente la aprobación y ejecutará las instrucciones correspondientes al AFE.

Por su parte y por lo general comprendido en un AFE, un Cash Call o solicitud de fondos es un documento que contiene un requerimiento formal emitido por el Operador a los No-Operadores para que aporten los fondos necesarios acorde a la participación de cada uno, a fin de cubrir los costos operativos y/o de capital previamente aprobados o previstos para las actividades de las operaciones conjuntas.

La solicitud de fondos funciona como un mecanismo a través del cual el Operador recolecta los fondos necesarios de los demás socios del JOA para financiar las operaciones en curso o las operaciones futuras, conforme a las participaciones porcentuales que cada parte tiene en el marco del JOA. El Operador estima los gastos futuros (basados en presupuestos o AFE aprobados o gastos operativos recurrentes) y solicita a cada No-Operador su cuota parte de esos fondos. El Cash Call asegura que el Operador tenga los recursos financieros disponibles para llevar a cabo las actividades planificadas oportunamente.

Continuando con el ejemplo práctico anterior, donde el JOA estaba conformado por tres empresas participantes, AA, BB y CC:

- la aprobación de un AFE para la perforación de un pad de dos pozos horizontales con un costo total estimado de USD 20 millones. El Operador

---

<sup>23</sup> Fórmula para el Valor Ajustado = Benchmark + (Estimación Intuitiva - Benchmark) × (Valor Diagnóstico / 100)

(AA) emite un Cash Call a las partes BB y CC para que aporten su cuota de financiamiento para uno de los pozos. El Cash Call para este AFE se calculará de la siguiente manera: el Costo Total (un pozo) será de USD 10 M, la participación BB del 35% (USD 3,5 M), la de CC del 25% (USD 2,5 M) y el 40% estará en cabeza del Operador (AA). La notificación del Cash Call típicamente incluye: identificación del Proyecto/AFE; monto total requerido y el monto a pagar por cada No-Operador; fecha de vencimiento del pago (fecha límite en la que los fondos deben ser transferidos al Operador a la cuenta conjunta), información bancaria, justificación de los fondos (breve descripción de las actividades que se financiarán con estos fondos, en el ejemplo, la perforación del pozo horizontal). Una vez que BB y CC responden al Cash Call y transfieren los fondos solicitados dentro del plazo establecido, el Operador (AA) dispone del capital necesario para ejecutar las operaciones de perforación según lo aprobado en el AFE. Los Cash Calls también se utilizan de manera regular para cubrir los costos operativos continuos del proyecto (salarios, mantenimiento, etc.), basándose en los presupuestos operativos aprobados periódicamente.

Una forma de aplicabilidad de la tecnología en este caso podría darse a través de la generación automática de los Cash Calls. En este caso, el sistema podría generar automáticamente las solicitudes de fondos a los No-Operadores, especificando el monto adeudado y la fecha de vencimiento, basándose en los costos incurridos y la distribución acordada en el AFE.

La Blockchain también podría registrar el estado de los pagos realizados por cada socio en respuesta a los cash calls, proporcionando un registro transparente y en tiempo real del cumplimiento de las obligaciones financieras.

### 3.3 El procedimiento de contratación

En el marco de un JOA, el mecanismo de contratación de bienes y servicios por parte del Operador puede seguir distintos procedimientos según el nivel de control deseado por las partes del JOA. Por lo general, un JOA comprenderá tres tipos de procedimientos para realizar contrataciones: A, B y C (Amr, 2023).

- (i) Conforme al Procedimiento A, el Operador se encuentra facultado con amplia discrecionalidad para adjudicar contratos al proveedor que considere mejor calificado, basándose en criterios de costos y capacidad técnica, sin necesidad de realizar una licitación formal ni requerir la aprobación del Comité Operativo. Esta autonomía solo se ve limitada en los casos en que el contrato involucre una afiliada del Operador<sup>24</sup> por un monto superior a supongamos USD 50.000,

---

<sup>24</sup> Comprende a sociedades vinculadas y controladas por otra sociedad conforme al art. 33 de la ley 19.550.

supuesto en el cual se exige la aprobación previa del Comité Operativo, a fin de prevenir conflictos de interés.

- (ii) Por su parte, el Procedimiento B representa una instancia intermedia, en la cual el Operador debe circular entre las Partes un listado de posibles oferentes y permitir que estas propongan alternativas dentro de un plazo perentorio (p/ej. 15 días). Luego de completado el proceso de licitación, el Operador deberá informar el resultado a las partes No Operadores, justificar su decisión mediante un análisis comparativo de ofertas, y proporcionar copia del contrato adjudicado a quien lo solicite. Este procedimiento impone mayores deberes de transparencia sin requerir una aprobación ex ante por parte del Comité Operativo, salvo cuando el adjudicatario sea una afiliada por un monto que supere el umbral establecido (ver tabla abajo).
  
- (iii) Finalmente, el Procedimiento C, impone una estructura participativa con un mayor grado de formalidad. En este caso se adiciona la obligación de distribuir la documentación licitatoria a los No Operadores, el análisis conjunto de las ofertas recibidas, la formulación de una recomendación razonada por parte del Operador, y la aprobación previa del Comité Operativo antes de la adjudicación definitiva. Este procedimiento maximiza la transparencia, limita la discrecionalidad del Operador y asegura la participación efectiva de todas las partes en decisiones de contratación relevantes.

En la tabla siguiente, se ejemplifican los tres procedimientos señalados, incluyendo montos y tipos de operaciones en los que aplica cada uno:

**Tabla 1 – Procedimientos de contratación JOA (fuente: elaboración propia)**

Tipo de Ops	Procedimiento A	Procedimiento B	Procedimiento C
Operaciones de Exploración y Evaluación	0 a 250	>250 a 500	> 500
Operaciones de Desarrollo	0 a 500	>500 a 1000	> 1000
Operaciones de Producción	0 a 500	>500 a 1000	> 1000

\*los montos están en miles de USD

Considerando los diferentes Procedimientos de Contratación (A, B y C) definidos en el marco de un JOA acorde con la tabla previa, cada procedimiento comprende un rango monetario para encuadrar las operaciones y otorgar un tratamiento particular para cada una.

Por su parte, la tecnología Blockchain ofrece varias aplicaciones que podrían mejorar la transparencia, la eficiencia y la trazabilidad en cada etapa del proceso, a saber:

- Registro inmutable de la documentación de contratación: Toda la documentación relevante para cada procedimiento de contratación (listado de oferentes, ofertas recibidas, análisis comparativos, contratos adjudicados, aprobaciones del Comité Operativo) podría registrarse de forma inmutable en una Blockchain de Consorcio accesible a todos los socios del JOA. Esto crearía un registro único y auditable de cada contratación, eliminando la posibilidad de manipulación o pérdida de información, dando la posibilidad de rastrear cada etapa del proceso de contratación, desde la identificación de la necesidad hasta la adjudicación y la firma del contrato, con marcas de tiempo y la identidad de las partes involucradas en cada acción.
- Automatización de flujos de trabajo específicos por procedimiento mediante Smart Contracts: Por ejemplo, en el Procedimiento A donde la contratación es discrecional del Operador, este podría estar obligado por un Smart Contract a registrar en la Blockchain la justificación de la adjudicación, incluyendo los criterios de costos y capacidad técnica considerados. El Smart Contract también podría detectar automáticamente si el adjudicatario es una afiliada del Operador y si el monto supera el umbral predefinido, activando automáticamente la necesidad de aprobación del Comité Operativo y notificando a los No-Operadores, registrando digitalmente las aprobaciones.

En el caso del Procedimiento B (consulta y propuesta de oferentes), el Operador registraría el listado inicial de posibles oferentes en la Blockchain y un Smart Contract podría habilitar un mecanismo para que los No-Operadores propongan oferentes adicionales dentro del plazo establecido, registrando estas propuestas de forma transparente. Por su parte, el análisis comparativo de ofertas realizado por el Operador se registraría en la Blockchain, junto con la justificación de la decisión y los No-Operadores podrían solicitar una copia del contrato adjudicado a través de la Blockchain, quedando registrada la solicitud y la posterior carga del documento.

Por último, para el caso del Procedimiento C (licitación formal con aprobación del Comité Operativo), la recomendación técnica del Operador se registraría en la Blockchain y un Smart Contract gestionaría el proceso formal de votación y aprobación del Comité Operativo antes de la adjudicación definitiva, registrando los votos de cada miembro.

- Auditorías Simplificadas: La información transparente y auditable en la Blockchain facilitaría las auditorías internas y externas del proceso de contratación.
- Alertas de Incumplimiento: Los Smart Contracts podrían programarse para generar alertas automáticas en caso de incumplimiento de los procedimientos (p/ej. contratación con afiliada sin aprobación del Comité Operativo).

### 3.4 Esquema de penalidades o desincentivos

Sin perjuicio de que, por lo general, un JOA no prevé penalidades o multas explícitas entre las partes asociadas, sí prevé mecanismos contractuales que sancionan o desincentivan ciertos comportamientos de las partes.

Por ejemplo, cuando la parte de un JOA no cumple con el pago de su proporción de los costos conjuntos o no mantiene las garantías requeridas, se la considera en incumplimiento (default). Ante esta situación, el Operador (excepto que sea quien se encuentra en incumplimiento) debe emitir una notificación de default, y luego de un plazo determinado<sup>25</sup> comienza el llamado período de incumplimiento, durante el cual, la parte incumplidora pierde derechos clave bajo el JOA. Así, por ejemplo, queda vedada la participación de la parte incumplidora en el Comité Operativo, lo que implica que se verá impedida de votar, acceder a información, transferir su participación (salvo a las partes cumplidoras), recibir producción de crudo y gas, o retirarse del JOA.

En este escenario, las partes cumplidoras asumen proporcionalmente las obligaciones económicas impagas del incumplidor, incluyendo tanto montos adeudados como garantías requeridas. Si una parte cumplidora no cumple con este deber, también se convierte en incumplidora. Los costos que se pueden reclamar incluyen no solo el capital impago, sino también intereses, honorarios, impuestos, y cualquier gasto derivado. En caso de que el incumplidor fuera el Operador, la parte cumplidora notificante puede administrar los fondos hasta que se subsane el incumplimiento o se designe a un nuevo Operador.

Mientras persista el incumplimiento, el incumplidor no podrá disponer de su porción de producción, la cual podrá ser vendida por el Operador para cubrir las deudas. Lo mismo aplica a la venta de bienes conjuntos, cuyo producido se usará para pagar intereses, capital adeudado y eventualmente formar un fondo de reserva para cubrir costos de abandono o cese de operaciones. Luego de un plazo determinado por el JOA (p/ej. 30 días) desde la notificación, de continuar la situación de incumplimiento, las partes cumplidoras pueden exigir la cesión obligatoria de la participación del incumplidor quien se encuentra obligado a

---

<sup>25</sup> En general, 5 días

facilitar los actos jurídicos necesarios para realizar la transferencia de su participación en el JOA y levantar cualquier gravamen sobre ella.

En un grado de intensidad menor, pero con la finalidad de penalizar o desincentivar la omisión de asunción del riesgo conjunto, un JOA puede contener una cláusula de no consentimiento (Non-Consent Penalty) cuando una parte decide no participar en una operación propuesta (p/ej. la perforación de un nuevo pozo). Este mecanismo se establece sobre la base de un criterio de riesgo compartido, en aras de desincentivar el “free-riding” (Neeman, 1999) y estimular el equilibrio del riesgo asumido por cada parte del JOA. En este sentido, el JOA puede establecer que las partes que sí participan (Consenting Party) asuman todo el costo de la operación, pero a cambio, obtengan una participación mayor en la producción derivada de esa operación hasta tanto recuperen un múltiplo de su inversión, privando temporalmente de la producción a la parte que no consintió la operación (p/ej., 300 % del CAPEX del AFE de esa operación que correspondería a la parte que no consintió la operación). De este modo, se penaliza por un lapso a la parte que no asumió su cuota de riesgo para una operación determinada, en tanto el espíritu del JOA radica en la distribución de riesgo entre sus participantes y la no participación en una operación determinada menoscaba esta cuestión en detrimento de las partes participantes, lo que justifica la racionalidad de la penalización.

Otra herramienta de penalización surge de la mora en el cumplimiento de las obligaciones de pago que puede devengar intereses punitivos a una tasa previamente acordada (p/ej. tasa LIBOR + 5% anual). Por último, en relación con faltas éticas, estas son tratadas como incumplimientos graves y pueden traer aparejados pagos indemnizatorios a las partes cumplidoras.

En la tabla a continuación, con fines comparativos detallamos lo expuesto con anterioridad para una mejor comprensión:

**Tabla 2 – Mecanismos de desincentivos JOA (fuente: elaboración propia)**

<b>Tipo de Penalidad / Desincentivo</b>	<b>Descripción del Mecanismo</b>	<b>Consecuencias para la Parte Incumplidora</b>
Incumplimiento de pago o garantía (Default)	Cuando una parte no paga su proporción de costos conjuntos o no mantiene garantías. El Operador debe notificar el incumplimiento y se inicia un "período de incumplimiento".	Pierde derecho a voto, acceso a información, participación en producción y transferencia de intereses. Se puede exigir la cesión obligatoria de su participación.
Obligación subsidiaria de cubrir impagos	Las partes cumplidoras deben cubrir proporcionalmente las deudas del incumplidor, incluyendo intereses, honorarios, impuestos.	Si no cumplen, también son consideradas incumplidoras.
Venta de producción o bienes del incumplidor	Mientras dure el incumplimiento, el Operador puede vender la producción o bienes conjuntos del incumplidor.	El producido se destina a cubrir intereses, capital adeudado y fondo de reserva.

Cesión obligatoria de participación	Si el incumplimiento persiste por un plazo determinado desde la notificación, se puede exigir la cesión de participación del incumplidor.	Obligación de facilitar los actos jurídicos para la transferencia y levantar gravámenes.
Cláusula Non-Consent	Si una parte no participa en una operación, los Consenting Parties asumen los costos a cambio de una mayor participación temporal en la producción.	Pierde parte de los beneficios de la operación hasta que los Consenting Parties recuperen un múltiplo de su inversión.
Intereses punitivos por mora	La demora en los pagos devenga intereses a una tasa acordada (ej. LIBOR + 5% anual).	Aumento del costo de la deuda por mora.
Faltas graves (ética, compliance, etc.)	Casos como uso indebido de información confidencial, soborno, etc.	Obligación de indemnizar a las demás partes por los daños ocasionados.

Tal como surge de la tabla anterior, la compleja arquitectura de desincentivos propia de un JOA (i.e. default, cláusula de non-consent, intereses punitivos, etc.) que establece una serie de consecuencias para la parte incumplidora (i.e. pérdida de los derechos de voto, indemnizaciones a las contrapartes, participación en la producción, etc.) es pasible de ineficiencias y costos de transacción debido a la prevalencia de procesos manuales y la variabilidad en la interpretación contractual.

La implementación de Smart Contracts en una Blockchain privada o de Consorcio, puede resultar en una solución de automatización para reducir el ruido en las interpretaciones variables, los sesgos y los obstáculos sistemáticos. En escenarios de incumplimiento por falta de pago de costos conjuntos o por inobservancia de garantías, un Smart Contract podría ser programado para ejecutar monitoreos continuos del estado de las cuentas designadas y ante la detección de un evento de falta de pago dentro de un plazo determinado (p/ej. 5 días hábiles post notificación), el Smart Contract activaría automáticamente una serie de acciones protocolizadas como la emisión inmutable de una notificación de default a las partes intervinientes, la restricción programática de los derechos de gobernanza del socio incumplidor en el Comité Operativo (p/ej. mediante la inhabilitación de sus capacidades de voto o de acceso a información digitalmente resguardada) y la reasignación prorrateada de las obligaciones financieras y de garantía a los socios cumplidores. Este proceso se registraría de manera inmutable en la Blockchain, eliminando la subjetividad en la determinación del default, reduciendo la latencia de la respuesta y mitigando potenciales conflictos al asegurar la ejecución consensual y auditable de las penalidades.

Asimismo, la Non-Consent Penalty y la aplicación de intereses punitivos por mora representan también ámbitos propicios para la automatización. En el primer caso, el Smart Contract podría verificar la decisión de un participante de abstenerse de una operación conjunta propuesta y ante esta verificación,

registrar la asunción íntegra de los costos asociados por parte de las Consenting Parties, para luego coordinar la asignación automática de la participación incrementada en la producción futura, hasta tanto se recupere un múltiplo preestablecido de inversión, con la consecuente privación temporal de producción para la parte que no consintió.

Respecto de la mora en los pagos, los intereses punitivos podrían calcularse y aplicarse automáticamente de forma al momento de detectarse un retraso en el cumplimiento de las obligaciones monetarias, garantizando la consistencia en la aplicación de las tasas y eliminando la necesidad de cálculos manuales o disputas sobre su aplicación. La naturaleza inmutable de los registros en la Blockchain y la lógica autónoma de los Smart Contracts aseguran que estos mecanismos se ejecuten de manera objetiva y sin sesgos, fomentando la disciplina contractual y la equitativa distribución del riesgo dentro del JOA.

### 3.5 Cláusulas de Ética, Compliance & Anticorrupción

En general, un JOA contiene un apartado o cláusula de ética, cumplimiento y anticorrupción (E&C). Esta cláusula establece que las partes se obligan a cumplir estrictamente con la normativa aplicable en materia de lucha contra la corrupción y soborno, tanto nacional como internacional, incluyendo la Convención de la OCDE (Amr, 2023) y los Códigos de Ética internos de cada parte, prohibiéndose expresamente cualquier forma de ofrecimiento o pago indebido a funcionarios públicos o actores políticos que pueda implicar una ventaja impropia para el Operador en particular o en representación del consorcio bajo el JOA.

En caso de incumplimiento, el incumplidor debe mantener indemnes e indemnizar a las demás partes cumplidoras por los perjuicios ocasionados, obligación que subsiste y sobrevive a la terminación del JOA.

El JOA también establece el deber para las partes de notificación inmediata ante la sospecha o conocimiento de posibles actos de corrupción, así como la obligación anual de emitir un Certificado de Cumplimiento Ético (CCE), por el cual cada parte informa a las demás de su estatus interno en la materia (p/ej. existencia de denuncias por corrupción en su contra en otros contratos u operaciones). Las partes de un JOA pueden auditar a las demás para verificar el cumplimiento de estas obligaciones e inclusive compartir información con autoridades competentes si se presentasen elementos que configuren un delito. En el caso de que una autoridad iniciare formalmente una investigación por violaciones a leyes anticorrupción, las partes que se vean afectadas (p/ej. en su reputación, buena fe) pueden basarse en la infracción del incumplidor y proceder a suspender pagos o a retirarse del JOA con derecho a percibir el valor de su participación.

Adicionalmente, cada parte del JOA debe mantener sistemas de control interno adecuados en sus propias estructuras organizacionales, registrar e informar todas las transacciones de manera precisa y no actuar en nombre de otra parte en forma que contravenga estas obligaciones. El JOA también establece el compromiso de cumplimiento ético extendido a empleados y contratistas de las partes, tanto del Operador como de los No Operadores.

En este escenario, es viable afirmar que el JOA otorga especial énfasis a las obligaciones de E&C, penalizando su transgresión como incumplimientos graves que a su vez habilitan cursos de acción que pueden llevar a la disolución de la asociación u exclusión del incumplidor. Además, en paralelo, se establecen una serie de conductas intensas y proactivas alineadas con las obligaciones E&C. De este modo, es viable concluir que la cláusula E&C en un JOA reviste una particular relevancia, por este motivo, el Operador y las demás partes del JOA por lo general, se obligan mutuamente a prevenir conflictos de intereses en la selección de contratistas y demás relaciones comerciales vinculadas a las operaciones. Sin perjuicio de lo anterior, el JOA prevé cierta flexibilidad para que las partes cuenten con un margen de libertad para desarrollar actividades económicas externas, incluso si estas compiten con las operaciones objeto del contrato, sin obligación de ofrecer participación a las demás partes del JOA.

En estos términos, la automatización de cláusulas como las señaladas en los párrafos precedentes mediante Smart Contracts implica un desafío, ya que estas cláusulas comprenden y regulan conductas humanas dotadas de una complejidad inherente a los efectos de codificar de forma automática, a diferencia de las acciones condicionales contractuales que pueden ser parcialmente automatizadas por su estructura lógica y secuencial.

Ahora bien, teniendo en cuenta esta particularidad, ¿qué parte del contenido de este tipo de cláusulas puede ser automatizado? Una forma de analizarlo a mediante la negativa, esto es, que no resulta viable automatizar el cumplimiento ético en sí, por su naturaleza psicológica e inherente al ser humano, pero sí pueden automatizarse consecuencias operativas ante ciertas condiciones pre validadas o disparadores externos: por ejemplo, los CEC de presentación anual que fueran mencionados más arriba, donde el Smart Contract puede programarse para exigir que cada parte del JOA suba un hash de su certificado firmado digitalmente en una fecha determinada, y en caso de no presentarse en tiempo y forma, ejecutar automáticamente una penalidad preestablecida (p/ej. congelar derechos de voto o acceso al Comité Operativo).

Otro caso práctico susceptible de automatización se produce ante una notificación de sospechas o de investigaciones oficiales. En estos casos, si una autoridad se encuentra permissionada para emitir la notificación pública (registrada en un oráculo externo) relativa a una sospecha de incumplimiento o de inicio de investigaciones, por ejemplo, el Smart Contract podría suspender automáticamente nuevos pagos o compromisos de capital por parte de la parte

investigada e iniciar un proceso automático de retiro contractual, dejando constancia en la Blockchain.

Otro caso de aplicabilidad puede observarse en las transferencias o autorizaciones. En estos escenarios, antes de ser ejecutadas, el Smart Contract consulta una lista dinámica de sancionados, vía oráculo como la OFAC o EU Sanctions List<sup>26</sup>, y si una parte del JOA o un proveedor determinado figura en la lista, se produce un bloqueo automático de la transacción respectiva.

En relación con los conflictos de interés, una forma de aplicación de la tecnología podría establecerse mediante un sistema de divulgación automática donde cada contratación del Operador deba registrarse con anticipación en la Blockchain. En caso de que el Operador no efectivice la divulgación previa, el Smart Contract podría generar alertas automáticas a las otras partes del JOA o eventualmente suspender la ejecución de esa operación hasta tanto la apruebe el Comité Operativo, si correspondiese.

En la tabla a continuación, se desarrollan a modo comparativo aquellas cláusulas y obligaciones expuestas en este apartado, pasibles de automatización, como también los beneficios que reportaría la automatización, así como los desafíos que implica esta metodología.

**Tabla 3 – E&C Cuadro comparativo (fuente: elaboración propia)**

<b>Cláusula/Obligación de Compliance</b>	<b>Mecanismos de Automatización Potenciales (Smart Contracts &amp; Oráculos)</b>	<b>Beneficios Potenciales de la Automatización</b>	<b>Desafíos de la Automatización</b>
Obligación General Anticorrupción y Antisoborno (Cumplimiento normativo, prohibición de pagos indebidos)	Automatización de consecuencias operativas ante incumplimientos pre-validados o disparadores externos.	Ejecución automática de penalidades contractuales ante la falta de cumplimiento de requisitos formales. Registro inmutable de eventos relacionados con compliance. Mayor transparencia en el seguimiento de obligaciones formales.	Dificultad para codificar conductas complejas y subjetivas. Necesidad de oráculos confiables para verificar eventos externos.
Deber de Notificación Inmediata de Sospechas o Conocimiento de Corrupción	Automatización de consecuencias operativas ante la notificación formal de investigaciones oficiales (vía oráculo).	Suspensión automática de pagos o compromisos de capital a la parte investigada. Inicio automático de procesos de retiro contractual predefinidos. Registro inmutable de la	Dependencia de la fiabilidad y oportunidad de la información proporcionada por el oráculo. Definición clara de los disparadores externos.

<sup>26</sup> Office of Foreign Assets Control (OFAC) es una oficina del Departamento del Tesoro de EE. UU. que administra y aplica sanciones económicas y comerciales.

		notificación y las acciones tomadas.	
Obligación Anual de Emitir Certificado de Cumplimiento Ético	Automatización de la exigencia y verificación de la presentación del certificado. El smart contract puede requerir la carga del hash del certificado firmado digitalmente en una fecha específica.	Cumplimiento automático de la obligación formal. Imposición automática de penalidades preestablecidas (congelación de derechos de voto/acceso al Comité Operativo) en caso de incumplimiento. Registro inmutable de la presentación (o falta de ella).	Necesidad de un estándar para el formato y la firma digital de los certificados. La automatización no verifica el contenido del certificado, solo su presentación.
Derecho de Auditoría para Verificar Cumplimiento	Podría registrarse en la blockchain la notificación formal de una auditoría y los resultados clave resumidos y hashados para su inmutabilidad.	Mayor transparencia en el proceso de auditoría y la disponibilidad de sus resultados clave. Registro inalterable de las conclusiones.	La ejecución física de la auditoría sigue siendo manual. La automatización se limita al registro formal de etapas y resultados.
Obligación de Compartir Información con Autoridades Competentes	Podría registrarse en la blockchain la constancia formal de haber compartido información con una autoridad competente (fecha, entidad).	Registro transparente de las acciones de colaboración con las autoridades.	La decisión y el proceso de compartir la información en sí no son automatizables.
Consecuencias de una Investigación Formal por Violaciones Anticorrupción (Suspensión de pagos, retiro del JOA)	Automatización de la ejecución de las consecuencias predefinidas si una autoridad emite una notificación pública de investigación (vía oráculo).	Ejecución automática de la suspensión de pagos o el inicio del proceso de retiro según los términos del JOA. Reducción de la discrecionalidad y potencial para disputas sobre la aplicación de estas consecuencias.	Dependencia de la precisión y confiabilidad del oráculo. Definición clara en el smart contract de los criterios para la activación automática.
Compromiso de Cumplimiento Ético Extendido a Empleados y Contratistas	Podría requerirse la carga de evidencia formal de la implementación de políticas de cumplimiento para empleados y contratistas (ej. códigos de conducta firmados).	Mayor transparencia en la implementación de programas de cumplimiento extendido. Registro de la adopción de políticas.	La verificación de la efectividad del cumplimiento por parte de terceros no es automatizable.
Prevención de Conflictos de Intereses en la Selección de Contratistas (afiliadas)	Sistema de divulgación automática: El Operador debe registrar con anticipación en la blockchain las operaciones de contratación (especialmente con afiliadas). Generación automática de alertas a las otras partes si no se	Mayor transparencia en los procesos de contratación. Alertas tempranas sobre posibles conflictos. Mayor capacidad de supervisión por parte de los No-Operadores.	La identificación de conflictos de interés potenciales sigue requiriendo análisis humano. La automatización se centra en la divulgación y las consecuencias de la falta de ella.

	realiza la divulgación previa. Posible suspensión automática hasta aprobación del Comité Operativo.		
Excepción por Políticas de Compre Local	Podría requerirse el registro en la blockchain de la política gubernamental específica invocada como excepción.	Mayor transparencia en la aplicación de las excepciones. Registro de la justificación de la excepción.	La verificación de la validez y aplicabilidad de la política gubernamental requiere análisis legal externo.

La tabla anterior refleja las cláusulas típicas de E&C y como mediante la implementación de mecanismos de automatización (Smart Contracts y Oráculos) se podrían obtener beneficios para las partes del JOA, sin perjuicio de la existencia de desafíos de arquitectura que presenta esta solución tecnológica.

### 3.6 Propuesta de arquitectura integrada

En las secciones previas fue delineada la problemática de las ineficiencias (sesgos, ruido y sludge) en los JOA y también cómo los Smart Contracts en una Blockchain privada o de Consorcio resultan en una alternativa de mitigación para estas cuestiones. Sin embargo, la realidad tecnológica de la industria de O&G, caracterizada por la prevalencia de Sistemas de Gestión de Procesos de Negocio (BPMS o Business Process Management System) preexistentes, justifica una aproximación a una potencial arquitectura integrada. Esta convergencia estratégica entre un BPMS y una Blockchain permite optimizar la performance de los procesos operativos al aprovechar las fortalezas inherentes de ambas tecnologías.

Como primera cuestión, resulta relevante exponer sucintamente una definición de BPMS, como una plataforma de software diseñada para modelar, ejecutar, automatizar, gestionar, optimizar y monitorear procesos de negocio de punta a punta. Un BPMS proporciona un entorno para la definición gráfica de flujos de trabajo, la organización de actividades, la integración con aplicaciones empresariales, la aplicación de reglas de negocio y la generación de inteligencia analítica para la mejora continua.

Camunda, por ejemplo, es un BPMS de código abierto que facilita la ejecución de flujos de trabajo basados en el estándar BPMN 2.0<sup>27</sup>, ofreciendo opciones de modelado visual, interfaces de interacción y capacidades de monitoreo y análisis. La flexibilidad arquitectónica de Camunda permite su integración con diversas tecnologías, incluyendo plataformas Blockchain como Hyperledger Fabric. Esta

<sup>27</sup> Business Process Model and Notation 2.0 es un estándar global y abierto para modelar procesos de negocio de forma gráfica. Es un lenguaje visual que permite a las organizaciones documentar, analizar, mejorar y comunicar sus procesos de manera clara y estandarizada. 2.0 es una actualización significativa que no solo se enfoca en la notación visual, sino que también incluye semántica de ejecución detallada y un formato de intercambio (XML).

última, una Blockchain de código abierto de nivel empresarial, distribuida y permissionada, es idónea para soluciones empresariales privadas y de consorcio, dadas sus características de inmutabilidad de datos, transparencia selectiva vía canales, ejecución de lógica de negocio mediante Smart Contracts y mecanismos de consenso configurables, todos estos, elementos cruciales para la privacidad, seguridad y performance en un JOA.

La sinergia entre un BPMS y una Blockchain puede anteponerse a las limitaciones forjando un ecosistema de gestión de procesos seguro, transparente, confiable y eficiente para los acuerdos operativos conjuntos.

La propuesta de una arquitectura integrada para la gestión de un JOA se articula en varios niveles operativos y tecnológicos. En primer lugar, la gestión del proceso operativo con Camunda BPMS como motor de gestión de procesos de negocio, modelizando y automatizando los procesos operativos específicos de un JOA.

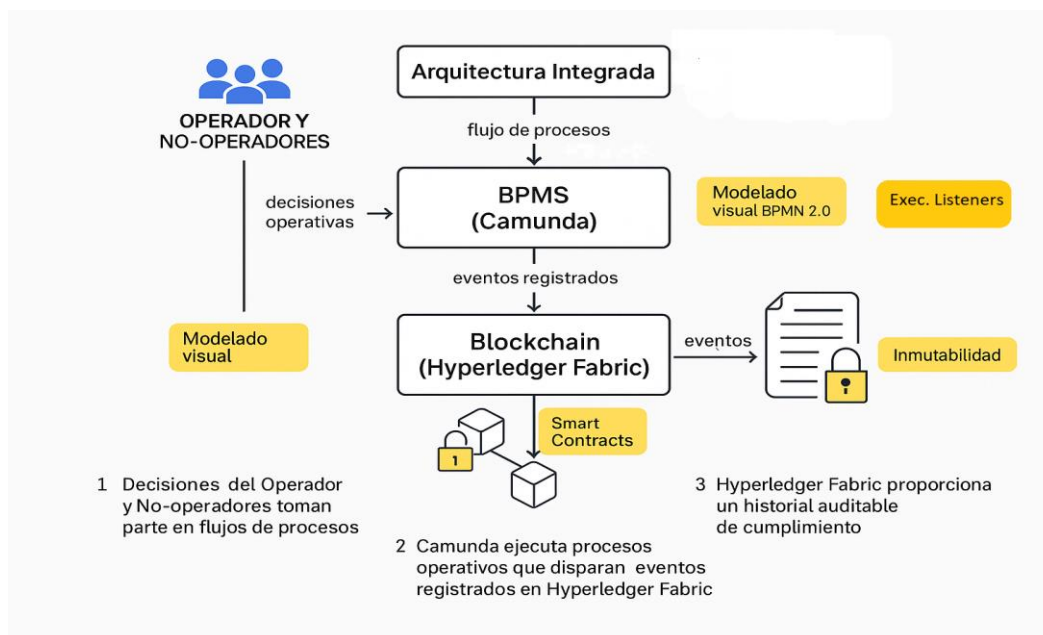
En el marco de esta propuesta de gestión, resulta viable diagramar de forma intuitiva los flujos de trabajo para decisiones operativas (p/ej. inversiones, gastos compartidos, planes de desarrollo) utilizando el estándar BPMN 2.0, para definir con precisión tareas, responsables, condiciones y transiciones. También facilita la automatización de tareas específicas e implementa validaciones automáticas basadas en reglas predefinidas en el JOA, minimizando errores y asegurando la adherencia a procedimientos acordados.

La plataforma permite la interacción de todas las partes del JOA (Operador y No-operadores) con sus tareas asignadas, proporcionando visibilidad en tiempo real del estado del proceso.

Por su parte, cada paso y decisión se registra de forma estructurada, creando una documentación detallada y auditable de la ejecución del acuerdo. La integración con Hyperledger Fabric añade una capa crítica de seguridad y transparencia.

A través de componentes como los "Execution Listeners" de Camunda o puntos de extensión que permiten la ejecución de código personalizado en momentos específicos del ciclo de vida de un proceso, cada acción relevante (p/ej. aprobación de presupuestos, cambios operativos, emisión de AFE, decisiones del Comité Operativo) se registra de forma inmutable en la Blockchain, garantizando la inmutabilidad de los registros creando un historial auditable. En la figura a continuación se visualiza esta operatoria:

Figura 3 – Gráfico de arquitectura integrada (fuente: elaboración propia)



En la figura anterior, el flujo de procesos corre por la arquitectura integrada, desde la BPMS donde se modelan las decisiones de Operado y No-Operadores, hasta la Blockchain y su característica de inmutabilidad y la automatización de eventos de los Smart Contracts.

En este escenario, todas las partes autorizadas al efecto pueden consultar el historial completo de transacciones y decisiones, fomentando la transparencia y facilitando la resolución de disputas. A su vez, al eliminar la dependencia de una base de datos centralizada, la confianza se distribuye entre los participantes de la red.

Por su parte, los canales de Hyperledger Fabric permiten restringir el acceso a la información y la ejecución de Smart Contracts solo a las partes directamente involucradas, preservando la confidencialidad de datos sensibles. La capacidad de Hyperledger Fabric para ejecutar Smart Contracts introduce un nuevo nivel de automatización y cumplimiento fiable de las obligaciones del JOA.

Otro punto para considerar es aquel vinculado al desarrollo de un mecanismo para almacenar metadatos generados por la ejecución de procesos en Camunda dentro de la Blockchain, lo que a la postre facilita la interoperabilidad futura con otros sistemas BPMS. Esta integración representa una solución innovadora para la gestión de un JOA en tanto elimina la necesidad de una autoridad central, fomenta la colaboración y apunta a reducir los conflictos. La digitalización del acuerdo y la automatización de sus cláusulas a través de esta arquitectura integrada sirve de base para una gestión en última instancia orientada hacia la eficiencia, la transparencia y un mayor grado de confianza entre todos los stakeholders involucrados. En la tabla a continuación pueden apreciarse las

características generales mencionadas de esta propuesta de arquitectura integrada:

**Tabla 4 – Arquitectura Integrada. Características (fuente: elaboración propia)**

<b>Dimensión</b>	<b>BPMS (Camunda)</b>	<b>Blockchain (Hyperledger Fabric)</b>	<b>Beneficio Integrado</b>
Gestión de procesos	Modelado y automatización de flujos operativos con BPMN 2.0	Registro inmutable de pasos clave del proceso (ej. aprobaciones, decisiones del Comité Operativo)	Estandarización y trazabilidad de los procesos del JOA
Interacción entre partes	Roles asignados a Operador y No-Operadores con tareas específicas	Acceso distribuido a los registros según permisos	Coordinación eficiente y transparente entre stakeholders
Automatización	Reglas de negocio para validaciones automáticas	Smart Contracts para ejecución automática de cláusulas contractuales	Cumplimiento automático y reducción de errores humanos
Transparencia y auditoría	Registro estructurado de actividades del proceso	Trazabilidad inmutable y consulta verificable de decisiones pasadas	Facilita la resolución de disputas y auditorías
Seguridad y confidencialidad	Validaciones internas y control de acceso en Camunda	Canales privados en Fabric limitan la visibilidad solo a partes involucradas	Protección de información sensible sin sacrificar trazabilidad
Extensibilidad e interoperabilidad	Soporte para ejecución de código personalizado (Execution Listeners, scripts)	Almacenamiento de metadatos de procesos y compatibilidad con estándares empresariales	Permite integración futura con otros sistemas y adaptabilidad a nuevas condiciones del negocio
Eliminación de autoridad central	Proceso automatizado pero aún dependiente del motor central de Camunda	Red distribuida que reemplaza la necesidad de un ente central confiable	Confianza distribuida entre las partes del JOA
Reducción de conflictos y sesgos	Reglas preestablecidas y monitoreo constante del cumplimiento	Datos inmutables y verificables reducen posibilidad de manipulaciones o reinterpretaciones	Mitigación de ruido, sesgos y sludge en la gestión contractual
Orientación a la eficiencia	Ejecución más ágil de flujos operativos mediante tareas automatizadas y seguimiento en tiempo real	Eliminación de redundancias y reconciliaciones mediante un único registro fuente confiable	Optimización del ciclo de vida del JOA y mayor agilidad operacional

La tabla anterior, da nota de como la BPMS y Blockchain reportan un beneficio integrado en una amplia gama de aspectos, como, por ejemplo, la estandarización y trazabilidad de los procesos del JOA mediante la gestión del modelado y automatización de flujos operativos con BPMN 2.0 integrado con el registro inmutable de pasos clave del proceso que provee la Blockchain (p/ej. aprobaciones, decisiones del Comité Operativo).

## CAPITULO 4: ANÁLISIS COMPARATIVO Y OTRAS APLICACIONES

### 4.1 Comparativa de costos. Ejercicio práctico

A continuación, se presenta un hipotético análisis comparativo de costos entre una gestión tradicional de un JOA versus la eventual implementación de Blockchain a fin de arribar a ciertas métricas que constituyan una herramienta apta para la toma de decisiones relativas a la viabilidad de aplicar la tecnología en este campo. Para llevar adelante este ejercicio, se parte del supuesto de un JOA suscrito entre dos (2) empresas en el marco de un permiso de exploración otorgado bajo la ley No. 17.319, en el cual cada parte cuenta con un 50% de participación. La información presentada está basada en el análisis interno realizado por las áreas de Supply Chain y IT en el marco de un caso real en una empresa de la industria de O&G, cuyos detalles se encuentran sujetos a confidencialidad. Las cifras y datos expuestos son aproximados.

El núcleo de la cuestión en el ejercicio radica en que las partes del JOA deben tomar la decisión de gestionar el contrato de forma tradicional, o en su defecto, implementar Blockchain en algunos procesos con la finalidad de reducir costos. Los procesos que se busca automatizar son: (a) AFE, (b) cash calls, (c) aspectos de E&C, (d) proceso de contratación de proveedores y otras autorizaciones y validaciones.

En esta línea de análisis, se pone el foco en el TCO<sup>28</sup>, que es un concepto de suma utilidad para determinar el costo real de una solución -tecnológica en este caso- a lo largo de su ciclo de vida útil (Mallidi, Sharma & Singh, 2021). El TCO comprende:

- (i) CAPEX: Entre los gastos de capital se puede mencionar el desarrollo o la compra de software; gastos de consultoría para implementación Blockchain; capacitación del personal, gastos alocados a infraestructura tecnológica como servidores, nodos privados y licencias.
- (ii) OPEX: Los gastos operativos comprenden al mantenimiento del sistema, el soporte técnico, las actualizaciones, seguridad, costos ocultos o indirectos, horas-hombre o tiempo que insume al personal la adaptación al cambio y la curva de aprendizaje; integración con otros sistemas como ERP, CRM<sup>29</sup>; riesgo residual ante la subsistencia de procesos manuales no digitalizados; costos por ineficiencias o controversias evitables; horas-hombre en conciliaciones; litigios o disputas; demoras en operaciones críticas y penalidades por incumplimientos involuntarios.

---

<sup>28</sup> Costo Total de Propiedad (Total Cost of Ownership) es una métrica financiera, una estimación integral de todos los gastos directos e indirectos asociados con la adquisición, implementación, operación, mantenimiento y eventual retiro de un activo de IT a lo largo de todo su ciclo de vida.

<sup>29</sup> Enterprise Resource Planning y Customer Relationship Management son sistemas de gestión empresarial.

A los efectos de realizar la comparativa de los modelos de gestión, se han tomado en cuenta una serie de parámetros a partir de datos observacionales empíricos no estadísticos. Los costos totales se han estimado para un período de 5 años. A continuación, un detalle conceptual de las categorías de costos contempladas a los efectos de obtener el TCO:

- Recursos humanos: Bajo el modelo tradicional, se requieren cinco (5) colaboradores con una tarifa horaria equivalente a USD 150, alocando al JOA 150 horas mensuales durante 5 años (60 meses). Estas horas se dedican a procesos de tipo manual como la elaboración de AFE, seguimiento de cash calls, validaciones internas, obtención de firmas, análisis y reuniones en la contratación de proveedores, etc. Bajo la solución Blockchain se estima una reducción del 50% del tiempo insumido en tareas manuales debido a la automatización ya que los colaboradores pasan a enfocarse en supervisión y gestión de excepciones.
- Herramientas administrativas: El modelo tradicional incluye licencias de software (CRM, ERP), plataformas de firma electrónica, herramientas de correo, almacenamiento, gestión de documentos y validación. Por su parte, para la solución Blockchain se incurre en un CAPEX mayor por desarrollo o adquisición de la plataforma, lo que incluye costos de diseño de Smart Contracts, despliegue, licencias de nodos, integración con sistemas existentes.
- Costos legales y contractuales: La gestión tradicional trae aparejados honorarios de asesores externos para redactar contratos, emitir opiniones legales, intervenir en aprobaciones, gestionar controversias o adaptaciones contractuales. Por su parte, la solución Blockchain, aunque requiere de mayor asistencia legal al inicio del proyecto para redactar y traducir cláusulas legales a código, estos costos se reducen paulatinamente en la curva temporal en la medida en que se va implementando el proyecto Blockchain.
- Infraestructura y TI: En ambos casos se presentan costos de servidores internos, backups, licencias de antivirus, firewalls, mantenimiento de redes, soporte informático. A su vez, la solución Blockchain trae aparejados otros costos adicionales como es el caso de gastos de infraestructura en nodos, alojamiento de Smart Contracts y soporte Blockchain.
- Costos por controversias legales: Este concepto comprende costos directos e indirectos lo que incluye, honorarios de abogados, pago de montos por sentencias, laudos arbitrales, acuerdos transaccionales en mediaciones o acuerdos privados. En el marco del modelo de gestión

tradicional, se asigna una probabilidad del 30% de ocurrencia de conflictos que deriven en controversias legales; para el caso de la solución Blockchain, debido a la trazabilidad, automatización y menor ambigüedad contractual, se asigna un 5% de probabilidades.

- Capacitación & adaptación cultural: La solución tradicional requiere impartir capacitaciones esporádicas y específicas sobre procesos administrativos, cumplimiento de E&C, etc.; en tanto que la solución Blockchain requiere de una mayor intensificación en las capacitaciones iniciales sobre uso de la tecnología, la gestión de Smart Contracts y la integración con otros sistemas, por lo que se asume un costo mayor para esta última alternativa.
- Mantenimiento y actualizaciones: El modelo de gestión tradicional incluye costos de soporte técnico, parches y mantenimiento de sistemas heredados. El modelo de Blockchain implica costos de soporte a la plataforma Blockchain, actualizaciones, mejoras de seguridad y escalabilidad.

En la tabla abajo se esquematizan los conceptos desarrollados con anterioridad a efectos de determinar el TCO, sobre la base de datos empíricos y presunciones basadas en valores referenciales de mercado. Sin perjuicio de la dificultad que en la práctica implica el cálculo del ROI para un proyecto tecnológico o de transformación digital (Khare & Martha, 2024), a los fines de este ejercicio se realizó el cálculo como un elemento adicional, una referencia más para evaluar la conveniencia de la implementación de la tecnología. En la tabla a continuación se puede visualizar numéricamente el ejercicio:

**Tabla 5 – Ejercicio de comparativa de costos (fuente: elaboración propia)**

<b>Categoría</b>	<b>Gestión Tradicional</b>	<b>Blockchain / Smart Contracts</b>
<b>Recursos humanos</b>	USD 1.350.000	USD 675.000 (Reducción 50%)
<b>Herramientas administrativas</b>	USD 250.000	USD 500.000 (Desarrollo Blockchain)
<b>Costos legales y contractuales</b>	USD 500.000	USD 250.000
<b>Infraestructura y TI</b>	USD 200.000	USD 250.000
<b>Costos por controversias legales</b>	USD 405.000	USD 67,5
<b>Entrenamiento / adaptación</b>	USD 50.000	USD 200.000
<b>Mantenimiento y actualizaciones</b>	USD 100.000	USD 150.000
<b>Costo Total de Propiedad (TCO)</b>	<b>USD 2.855.000</b>	<b>USD 2.092.500</b>
<b>ROI estimado sobre Blockchain</b>	N/A	<b>+ 36,45%</b>
<b>Escalabilidad del modelo</b>	Limitada	Alta, replicable

Tomando como base el ejercicio expuesto en la tabla anterior, desde la perspectiva de un análisis simplificado es posible aseverar que el modelo

Blockchain permite una reducción significativa de costos en las categorías de recursos humanos y litigios, aunque los costos iniciales se presentan más altos, el modelo es rentable a mediano plazo y su escalabilidad y trazabilidad le dan una ventaja competitiva sostenible. Teniendo en cuenta el TCO a 5 años para comparar las opciones de gestión; la automatización mediante Blockchain, a priori, presentaría ciertas ventajas comparativas como una reducción sustancial en los costos operativos legales, así como aquellos costos asociados a controversias, lo que a la postre implica una mejora de la gobernanza y una mayor transparencia, trazabilidad y eficiencia operativa.

Respecto al período de recuperación de la inversión (payback) en el modelo expuesto, para el caso de la solución Blockchain, que representa una mayor inversión inicial en el primer año, este se produce entre el segundo y tercer año. Respecto al ROI<sup>30</sup> donde por una parte contiene a la ganancia neta que es el ahorro total acumulado que se obtiene al optar por la solución Blockchain en lugar de la gestión tradicional durante los 5 años y por otra parte contiene a la inversión inicial que implica el gasto total en la implementación de la solución Blockchain, lo que incluye tanto el CAPEX (desarrollo, consultoría, adaptación) como los primeros costos operativos; este es positivo para la solución Blockchain, de lo que se puede inferir que la implementación de la tecnología en el largo plazo, optimiza recursos, fortalece la gobernanza y genera valor para la empresa.

## 4.2 Otras aplicaciones actuales de Blockchain en O&G

A continuación, se exploran algunos casos concretos de aplicación de blockchain en diversos campos de la industria de O&G.

- **Vakt y el trading de commodities**

Vakt es una plataforma de trading basada en Quorum de JPMorgan, que fue lanzada en 2018 por un consorcio de empresas productoras de la industria de O&G. El objetivo principal de la plataforma radica en digitalizar el procesamiento post comercialización de las transacciones físicas de energía, eliminando documentos y procesos manuales para aumentar la velocidad y seguridad. Mediante blockchain, busca reducir los tiempos de liquidación, aumentar la precisión de los datos y mitigar los riesgos de fraude. Vakt ha tenido un impacto notable en el mercado de crudo del Mar del Norte (Blanco, 2020) y continúa siendo una de las iniciativas de blockchain más destacadas en el trading de energía. El funcionamiento de la plataforma se focaliza en la reducción de errores humanos y la aceleración del ciclo de facturación para agilizar pagos, mejorando la eficiencia en la cadena de suministro post comercio de petróleo y gas.

---

<sup>30</sup> Retorno sobre la Inversión (ROI) se calcula como:  $ROI = (Ganancia\ Neta / Inversión\ Inicial) \times 100$ .

- [El consorcio Blockchain for Energy \(B4E\)](#)

B4E es una blockchain consorcio enfocada en resolver problemas en la cadena de valor de la industria de O&G que resultan comunes para los miembros del consorcio, como, por ejemplo, la gestión de datos, las transacciones de gas natural y líquidos (GNL), la gestión de la facturación, la trazabilidad de la cadena de suministro y la optimización de procesos de auditoría. B4E apunta a crear estándares comunes para la implementación de blockchain y fue la primera iniciativa de este tipo en los EE. UU. B4E ha realizado pruebas exitosas en los siguientes campos: (i) AFE, permitiendo a los miembros del consorcio enviar documentos y votar digitalmente, agilizando el proceso y proporcionando registros inmutables; también mediante el cálculo automático de los aportes de los socios a través de smart contracts, y (ii) administración y sincronización de datos de transporte de agua, en un proyecto con Data Gumbo (Lu, Huang, Azimi & Guo, 2019) en el que se validaron volúmenes de agua sin intervención humana, automatizando pagos a proveedores y reduciendo tiempos, costos y disputas.

- [S&P Global Commodity Insights](#)

Antes que una plataforma, se trata de una de las principales fuentes mundiales de información en relación con precios de referencia y análisis para los mercados de commodities y energía. Es un proveedor de datos, noticias, análisis y benchmarks críticos para la toma de decisiones en la industria de O&G, por ejemplo, mediante sus evaluaciones de precios que son utilizadas como referencia global para la compraventa de crudo, productos refinados, gas natural y GNL. S&P proporciona noticias en tiempo real, datos históricos, pronósticos, análisis de mercado y metodologías de precios que afectan directamente las decisiones de trading, la planificación estratégica y la gestión de riesgos en todo el sector de O&G. S&P ha implementado blockchain para que los participantes del mercado presenten datos semanales de inventario de almacenamiento de petróleo en la Zona de la Industria Petrolera de Fujairah (FOIZ), acelerando los procesos y reduciendo la injerencia del error humano, pudiendo de este modo auditar información de inventario y proponiendo una única fuente de verdad para los participantes (Blanco, 2020).

- [Quaychain y el abastecimiento de combustible](#)

Plataforma con sede en Singapur que automatiza los servicios de abastecimiento de combustible para buques (bunker), desde la contratación hasta la entrega y el pago, utilizando sensores digitales (IoT) para registrar datos de volumen, ubicación, fecha y hora de forma inmutable. En el sector de O&G, Quaychain

puede mejorar la logística de transporte de productos (crudo, refinados, GNL) y equipos (contenedores, camiones). Las soluciones de esta plataforma permiten el seguimiento preciso de equipos y cargas, verificación visual de hitos, y la captura de datos ESG para informes de sostenibilidad, lo que deviene relevante en el marco de una industria con cadenas de suministro extensas y complejas, facilitando la visibilidad y gestión de riesgos.

- [Ziyen Energy y la tokenización](#)

Plataforma de comercio digital para tokenizar activos energéticos productivos usando blockchain basada en permisos. Ziyen Energy es una empresa que se originó como una empresa de software e inteligencia de contratos con el propósito de capitalizar oportunidades en el mercado de producción de petróleo en EE. UU, en particular, pozos sub-utilizados.

- [Marco \(Finboot\) y la interface](#)

Marco no se trata de una blockchain en sí misma, sino de una capa de software que simplifica la adopción y el uso de la tecnología para empresas. Marco provee soluciones para facilitar la interacción entre empresas en cadenas de suministro con servicios de seguimiento (track-and-trace) y certificación (blockstamp) de productos. Vale destacar la colaboración de Marco con Repsol para el seguimiento de muestras en refinerías y complejos químicos (Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob & Omar, 2021).

- [GuildOne \(royalty ledger\) y el pago de regalías](#)

Inicialmente como una blockchain privada de Hyperledger Fabric, esta solución opera sobre el pago de regalías, otro de los puntos regulados en un JOA. Bajo GuildOne, los datos de producción de petróleo y gas (p/ej. volúmenes extraídos, precios de venta, costos relevantes, etc.) se registran en la blockchain, en algunos casos, estos datos se alimentan directamente de sistemas de medición de campo (IoT) o de fuentes de datos autorizadas, reduciendo la manipulación humana. Los términos complejos de los acuerdos de regalías se codifican en Smart Contracts<sup>31</sup> y luego, a través de la integración con sistemas de pago (p/ej. ATB Financial), el Smart Contract puede desencadenar pagos automatizados directamente a las cuentas bancarias de los titulares de las regalías. Todos los participantes autorizados (operador, titular de regalías, auditor) tienen acceso a

---

<sup>31</sup> Por ejemplo, si el volumen de petróleo producido en el Pozo X durante el mes Y es Z barriles, y el precio promedio es P, y los costos deducibles son C, entonces la regalía para el propietario A es  $(Z * P - C) * \%Regalía$ , y este monto debe pagarse al monedero de A.

un registro compartido e inmutable de los datos de producción y los cálculos, lo que crea una fuente única de verdad.

## CONCLUSIONES

Mediante un enfoque descriptivo desde lo conceptual y deductivo desde lo empírico, se aportó una visión donde la integración de la tecnología Blockchain, particularmente a través de Smart Contracts, presenta un panorama prometedor para optimizar la gestión y ejecución de los Acuerdos de Operación Conjunta, que constituyen entramados transaccionales frágiles en términos de riesgo sistémico.

La aplicación de la tecnología en cuestión en el marco de la industria de O&G continúa siendo de "nicho" y limitada, sin embargo, los resultados iniciales sugieren un potencial significativo para reducir las ineficiencias inherentes a los procesos tradicionales, minimizando los costos de transacción y amplificando la previsibilidad en la gestión de riesgos contractuales.

La automatización de procesos como los AFE y "Cash Calls", así como la gestión de aspectos contractuales y el procedimiento de contratación de proveedores, podría transformar la dinámica operativa de los JOA.

Al abordar problemas como la variabilidad en la toma de decisiones (ruido), los sesgos cognitivos y los obstáculos sistemáticos ("sludge") a través de la estandarización y algoritmos, Blockchain puede dotar al sistema de una mayor resiliencia y eficiencia. A partir de un ejercicio comparativo de costos se vio, que, aunque la inversión inicial sea mayor, la solución basada en Blockchain puede generar un retorno positivo, principalmente por la reducción de costos operativos (medidos en la asignación de horas hombre), costos legales y de resolución de disputas.

Como corolario, mediante un análisis FODA, se sintetizan las ventajas y desafíos asociados al objeto del presente trabajo, a fin de trazar los lineamientos de las consideraciones finales:

### 1. Fortalezas

- **Transparencia:** La naturaleza distribuida e inmutable de Blockchain permite un registro transparente y auditable de todas las transacciones, costos, producción y decisiones, accesible en tiempo real a todos los socios del JOA, reduciendo la asimetría de información.
- **Eficiencia:** La automatización de procesos clave a través de Smart Contracts (como la distribución de costos o los "cash calls") puede reducir significativamente los tiempos de procesamiento, los errores manuales y la necesidad de reconciliaciones complejas.

- **Reducción de Costos:** La automatización y la mayor transparencia pueden llevar a una disminución de los costos administrativos, de auditoría, asociados a disputas y de oportunidad por retrasos en aprobaciones.
- **Gestión Contractual Eficiente:** Los Smart Contracts ejecutan términos acordados en el JOA al cumplirse las condiciones predefinidas, lo que garantiza el cumplimiento y reduce la necesidad de interpretación y posibles controversias.
- **Seguridad:** La criptografía y el consenso distribuido inherentes a Blockchain proporcionan un alto nivel de seguridad e integridad de los datos, dificultando la manipulación y el fraude.
- **Auditoría y Trazabilidad:** El registro inmutable de Blockchain facilita la trazabilidad de todas las acciones y transacciones, simplificando los procesos de auditoría y mejorando la rendición de cuentas.
- **Gestión Eficiente de la Cadena de Suministro:** Blockchain puede mejorar la transparencia y la eficiencia en la gestión de la compleja cadena de suministro, rastreando el origen de los equipos, los materiales y los servicios.

## 2. Debilidades

- **Implementación:** La integración de Blockchain con los sistemas y procesos existentes de las empresas de O&G puede ser compleja y requerir una inversión significativa en infraestructura, software y capacitación.
- **Escalabilidad:** Las Blockchains públicas pueden enfrentar problemas de escalabilidad para manejar el gran volumen de transacciones y datos generados en proyectos de O&G a gran escala. Las Blockchain privadas o de consorcio pueden mitigar este punto, sujeto a una alta performance en la gobernanza.
- **Interoperabilidad:** La falta de estándares y la diversidad de plataformas podría dificultar la interoperabilidad entre los sistemas internos de los socios.
- **Necesidad de Oráculos:** Para automatizar eventos del mundo real (como el precio del petróleo o notificaciones regulatorias), los Smart Contracts dependerán de oráculos externos, que deben ser seguros y confiables.
- **Resistencia al Cambio:** La adopción de nuevas tecnologías enfrenta resistencia interna por parte de las organizaciones acostumbradas a los procesos tradicionales.

## 3. Oportunidades

- **Posible Reducción de Fraude y Corrupción:** La transparencia y la auditabilidad de Blockchain pueden ayudar a prevenir y detectar el fraude y la corrupción en las transacciones y la gestión del JOA.

- **Colaboración:** Una plataforma compartida y transparente puede fomentar una mayor colaboración entre los socios del JOA, facilitando la toma de decisiones y la resolución de conflictos.
- **Financiación y Gestión de Riesgos:** La mayor transparencia y la trazabilidad pueden facilitar el acceso a financiación y mejorar la gestión de riesgos al proporcionar una visión más clara de las operaciones y los flujos de caja.
- **Cumplimiento Normativo:** Ciertos aspectos del cumplimiento normativo (por ejemplo, informes o auditorías) podrían automatizarse a través de Blockchain, reduciendo la carga administrativa y el riesgo de incumplimiento.
- **Nuevos Modelos de Negocio:** Blockchain podría habilitar nuevos modelos de negocio y formas de colaboración en la industria O&G, como plataformas de intercambio de activos o financiamiento colectivo de proyectos.
- **Integración Tecnológica:** Blockchain puede integrarse con IoT para recopilar y registrar datos operativos en tiempo real de manera segura y transparente, mejorando la toma de decisiones.

#### 4. Amenazas

- **Ciberseguridad:** Aunque Blockchain es inherentemente segura, las vulnerabilidades en los Smart Contracts, las interfaces de usuario o los oráculos podrían ser explotadas.
- **Adopción Lenta:** Una adopción lenta y la falta de estándares de la industria podrían limitar la interoperabilidad y la escalabilidad de las soluciones Blockchain en el marco de un JOA.
- **Dependencia de Oráculos:** Si los oráculos que alimentan los Smart Contracts con datos del mundo real son comprometidos o proporcionan información errónea, la automatización podría generar resultados negativos.
- **Incertidumbre Legal:** Los cambios en las leyes y regulaciones relacionadas con Blockchain podrían afectar la validez y la aplicabilidad de las soluciones implementadas.
- **Resistencia de Partes:** La falta de comprensión o la desconfianza hacia la tecnología Blockchain por parte de algunos socios, proveedores o stakeholders (como sindicatos y autoridades) podría obstaculizar la adopción de la tecnología.

La adopción estratégica de Blockchain y Smart Contracts y su aplicabilidad concreta en cláusulas y procesos vinculados a JOA representa una herramienta interesante para reducir ineficiencias y riesgos en una industria inherentemente riesgosa. En el contexto de una fase de adaptabilidad, donde las empresas se encuentran ante el dilema de continuar con la gestión tradicional de sus contratos o adaptar sus procesos a las nuevas herramientas tecnológicas disponibles, la

automatización logra reducciones sustanciales en los costos de transacción y las ineficiencias operativas, al tiempo que mitiga el riesgo de disputas y la asimetría de la información. De este modo, la transformación tecnológica viene a incrementar la resiliencia del entramado contractual frente a la volatilidad propia de la industria y sienta las bases para un nuevo modelo de colaboración fluida, segura y transparente, impulsando a los players de la industria de O&G hacia un nuevo paradigma de operatividad y gestión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, M., Khan, M. J., & Ahmad, S. (2021). Blockchain in oil and gas industry: Applications, challenges, and future trends. *TechRxiv*. doi: 10.36227/techrxiv.16825696.v1
- Alves, P. H., Paskin, R., Frajhof, I., Miranda, Y. R., Jardim, J. G., Cardoso, J. J. B., Haddad, E.H., Ferreira da Cunha R., Nasser R. & Robichez G. (2020). Exploring blockchain technology to improve multi-party relationship in business process management systems. En *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2020)*, 2, 817–825. doi=10.5220/0009565108170825
- Amr, N. (2024). The AIEN 2023 International Model Joint Operating Agreement. *Practical Law Oil & Gas*. Recuperado de <https://content.next.westlaw.com/w-041-8502>
- Antipova T. (2020), *Integrated science in digital age 2020*. Cham: Springer Nature.
- Blanco, M., Celesti, V., & Lezica, M. (julio, 2020). Blockchain solutions for oil and gas problems. *Martinez de Hoz & Rueda Energy | Newsletter*, p.5. Recuperado de <https://mhrlegal.com/newsletter-energy-july2020/>
- Blockchain for Energy. (s.f.). *Blockchain for Energy*. <https://blockchainforenergy.net/>
- Breidenbach, L., Cachin, C., Chan, B., Coventry, A., Ellis, S., Juels, A., Nazarov, S., Moroz, D., Tramèr, F., Zhang, F., & Miller, A. (2021). *Chainlink 2.0: Next steps in the evolution of decentralized oracle networks*. Recuperado de <https://research.chain.link/whitepaper-v2.pdf>
- Caldarelli, G. (2022). Overview of blockchain oracle research. *Future Internet*, 14, 175. doi: 10.3390/fi14060175
- Chen, L., Xu, N., Shah, Z., Gao, Z., Lu, Y., & Shi, W. (2017). On security analysis of proof-of-elapsd-time (poet). *Proceedings of the Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS)* (282–297).
- Del Regno, L. (2010). Evaluación de proyectos y el riesgo: Un enfoque para la industria del petróleo y del gas. *Petrotecnia*, 56, 56–73.
- Del Bollo, M. (2020). *Smart Contracts y las Organizaciones Autónomas Descentralizadas: ¿El surgimiento de una sociedad virtual?* [Tesis de

Maestría, Universidad de San Andrés. Departamento de Derecho]. Repositorio Digital San Andrés. <http://hdl.handle.net/10908/18352>

- Deloitte. (2017). *Blockchain: Overview of the potential applications for the oil and gas market and the related taxation implications*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-oil-gas-blockchain-article.pdf>
- Egbumokei, P. I., Dienagha, I. N., Digitemie, W. N., Onukwulu, E. C., & Oladipo, O. T. (2024). Strategic contract management for drilling efficiency and cost reduction: Insights and perspectives. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 5(5), 1042–1050.
- Ethereum.org. (s.f.). *Ethereum*. <https://web.archive.org/web/20140206034718/http://www.ethereum.org/ethereum.html>
- GuildOne. (2019). *GuildOne's Smart Contract Engine for Corda*. [https://guild1.co/wp-content/uploads/2019/09/ConTracks-White-Paper\\_-\\_2019.pdf](https://guild1.co/wp-content/uploads/2019/09/ConTracks-White-Paper_-_2019.pdf)
- Jehl, L. E., & Bartish, B. (2018). Blockchain Smart Contracts: A new transactional framework. *Bloomberg Law*. Recuperado de <https://www.bloomberglaw.com/external/document/X4SGO17O000000/tech-telecom-professional-perspective-blockchain-smart-contracts>
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Barcelona: Debate.
- Kahneman, D., Sibony, O., & Sunstein, C. R. (2021). *Ruido: Un fallo en el juicio humano*. Barcelona: Debate.
- Khare, A., Martha, S., & Agrawal, S. (2024). *Rethinking digital transformation metrics: Moving beyond traditional ROI*. TechRxiv. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.172503986.60735611/v1>
- Lu, H., Huang, K., Azimi, M. A., & Guo, L. (2019). Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks. *IEEE Access*, 7, 41426–41444. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2907695
- Mallidi, S. R. R., & Sankar, K. N. (2021). Legacy Digital Transformation: TCO and ROI Analysis. *International journal of electrical and computer engineering systems* 12(3), 163-170. doi: 10.32985/ijeces.12.3.5

- Mikami, M. (2014). Coasean view of human behavior and new institutional economics. *Journal of Economics, Meiji University*, 56(7), 35-47.
- Musienko Y. (2023, 13 de febrero). How to use blockchain in oil and gas industry. *Merehead.com*. Recuperado de <https://merehead.com/blog/use-blockchain-oil-gas-industry/>
- Navarro, G. A., & Gallo, L. I. (2020). Innovación, derecho y finanzas. Los aportes de la blockchain a la evolución del sistema mercantil. *La Ley, 2020-D* (144), 2351-2020.
- Neeman, Z. (1999). Property rights and efficiency of voluntary bargaining under asymmetric information. *The Review of Economic Studies*, 66(4), 863-877.
- Nesterak, E. (2021, 24 de mayo). A conversation with Daniel Kahneman about Noise. *Behavioral Scientist*. Recuperado de <https://behavioralscientist.org/a-conversation-with-daniel-kahneman-about-noise/>
- Ouyang, L., Zhang, W., & Wang, F.Y. (2019). Intelligent contracts: Making smart contracts smart for blockchain intelligence. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 20(1), 3-7.
- Padilla Sánchez, J. A. (2020). Blockchain y contratos inteligentes: aproximación a sus problemáticas y retos jurídicos. *Revista de Derecho Privado*, (39), 175-201.
- Paskin, R., Jardim, J. G., Miranda, Y. R., Frajhof, I., Alves, P. H. C., Miranda, F. P., Gama, C., Ladeira, R., Nasser, R. B., & Robichez, G. (2020). Aplicação da tecnologia blockchain para assinatura de documentos em grandes empresas: um desafio para gestão de custos [Blockchain digital signatures in a big corporation: a challenge for costs management sector]. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 91225-91240.
- Piñeiro Sánchez, C. (2003). La evaluación de inversiones en tecnologías de la información. Aplicaciones a la teoría de la decisión multicriterio. *Revista Galega de Economía*, 12 (1), 1-18.
- Shahab, S., & Lades, L. K. (2024). Sludge and transaction costs. *Behavioural Public Policy*, 8(2), 327-348.

- Sunstein, C. R. (2021) *Sludge: Por qué nos cuesta hacer las cosas y qué nos lo impide*. Madrid: Alianza Editorial.
- Sunstein, C.R. (2022). Governing by Algorithm? No noise and (Potentially) less bias. *Duke Law Journal*, 71(6), 1175-1205.
- Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. New York: Random House.
- Thaler, R. H. (2018). *Portarse mal: El comportamiento irracional en la vida económica*. Barcelona: Paidós.
- Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2022). *Nudge: un pequeño empujón*. Barcelona: Debolsillo.
- Voshmgir, S. (2025). *Token economy (3<sup>rd</sup> ed.)*. Recuperado de <https://token.kitchen/token-economy/third-edition/table-of-contents>
- Zakizadeh, M., & Zand, M. (2023). *Blockchain in Oil & Gas Industries*. doi: 10.13140/RG.2.2.32234.22729