



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales ICADE
Grado en Business Analytics

PAZ BAJO PRESIÓN ENERGÉTICA: TEORÍA DE JUEGOS Y ESTABILIDAD BIPOLAR VS TRIPOLAR EN LA RIVALIDAD EE. UU.-CHINA-RUSIA PETRÓLEO Y GAS

Clave: 202104232

Autor: Gonzalo Trolez Cortina
Director: Peter Guenther Antoon Claeys

RESUMEN

Este trabajo investiga las condiciones bajo las cuales la paz es más estable en un sistema tripolar (EE. UU., China, Rusia) cuando el petróleo y el gas operan como palancas de coerción estratégica. Se construye un modelo formal que extiende el Double Deterrence Game de Zagare (2024), incorporando la coerción energética como nivel intermedio entre diplomacia y fuerza militar, y se evalúa mediante simulación de Monte Carlo con 10.000 iteraciones sobre seis escenarios calibrados empíricamente con datos de SIPRI, IEA y CREA. El marco teórico integra la teoría de la polaridad (Waltz, Deutsch y Singer, Mearsheimer), la negociación bajo sombra de poder (Fearon, Powell), la disuasión perfecta (Zagare y Kilgour), la manipulación estratégica (Schelling), la cooperación iterada (Axelrod) y las dinámicas de comercio y conflicto (Martin, Mayer y Thoenig). Se identifican cinco mecanismos causales y tres condiciones necesarias para la paz estable. El hallazgo principal es que la tripolaridad no es estructuralmente más inestable que la bipolaridad, sino condicionalmente: cuando la brecha de imposición de sanciones es baja, la credibilidad disuasoria es alta y la red energética es densa, ambas configuraciones producen resultados equivalentes. La desestabilización emerge cuando estas condiciones fallan, generando una cola de riesgo más gruesa que la bipolaridad. La coerción energética funciona como válvula de seguridad del sistema, canalizando tensiones sin cruzar el umbral militar, salvo cuando una coalición entre retadores la neutraliza.

Palabras clave: teoría de juegos, tripolaridad, disuasión, coerción energética, estabilidad de la paz, sanciones.

ABSTRACT

This paper investigates the conditions under which peace is more stable in a tripolar system (US, China, Russia) when oil and gas serve as strategic coercion levers. A formal model extending Zagare's (2024) Double Deterrence Game is constructed, incorporating energy coercion as an intermediate level between diplomacy and military force, and evaluated through Monte Carlo simulation with 10,000 iterations across six empirically calibrated scenarios using SIPRI, IEA and CREA data. The theoretical framework integrates polarity theory (Waltz, Deutsch and Singer, Mearsheimer), bargaining under the shadow of power (Fearon, Powell), perfect deterrence (Zagare and Kilgour), strategic manipulation (Schelling), iterated cooperation (Axelrod) and trade-conflict dynamics (Martin, Mayer and Thoenig). Five causal mechanisms and three necessary conditions for stable peace are identified. The main finding is that tripolarity is not structurally more unstable than bipolarity, but conditionally so: when the sanctions enforcement gap is low, deterrence credibility is high, and the energy network is dense, both configurations yield equivalent outcomes. Destabilization emerges when these conditions fail, generating a fatter risk tail than bipolarity. Energy coercion functions as a safety valve, channeling tensions below the military threshold, except when a coalition between challengers neutralizes it.

Key words: game theory, tripolarity, deterrence, energy coercion, peace stability, sanctions.

Por la presente, yo, Gonzalo Trolez Cortina, estudiante de Business Analytics y Relaciones Internacionales de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "PAZ BAJO PRESIÓN ENERGÉTICA: TEORÍA DE JUEGOS Y ESTABILIDAD BIPOLAR VS TRIPOLAR EN LA RIVALIDAD EE. UU.-CHINA-RUSIA PETRÓLEO Y GAS", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación.

1. Referencias: Usado juntamente con otras herramientas, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
2. Interpretador de código: Para realizar análisis de datos preliminares.
3. Corrector de estilo literario y de lenguaje: Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
4. Sintetizador y divulgador de libros complicados: Para resumir y comprender literatura compleja.
5. Revisor: Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
6. Generación de código: Para la construcción del script de simulación Monte Carlo (Anexo A.3), utilizado como asistente de programación, con posterior revisión y validación manual de toda la lógica.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 10 de abril de 2026

Firmado: Gonzalo Trolez Cortina

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Motivación, pregunta de investigación e hipótesis	5
1.2 Definiciones operativas y delimitación del alcance	7
2. MARCO TEÓRICO: POLARIDAD, DISUASIÓN Y NEGOCIACIÓN ESTRATÉGICA.....	8
2.1 El debate bipolaridad vs. multipolaridad	8
2.2 Disuasión y escalada en triadas	10
2.3 Negociación bajo sombra de poder.....	11
2.4 Compromisos y manipulación estratégica	13
2.5 Cooperación iterada, reputación y disciplina estratégica.....	13
3. PETRÓLEO Y GAS COMO VARIABLE ESTRATÉGICA	14
3.1 Interdependencia energética, vulnerabilidad y estructura del sistema global.....	14
3.2 Sanciones energéticas: diseño, enforcement y evasión.....	16
3.3 Dinámica temporal, mecanismos causales y condiciones de paz estable	18
4. MODELO FORMAL: JUEGO TRIPOLAR CON PALANCAS ENERGÉTICAS ..	22
4.1 Jugadores, preferencias y supuestos y estructura del juego	22
4.2 Estrategias disponibles y payoffs: seguridad, rentas energéticas, costes macroeconómicos y reputación.....	25
4.3 Equilibrios, condiciones de paz estable y estática comparada.....	26
5. ESCENARIOS Y STRESS TEST ENERGÉTICOS	28
5.1 Diseño y calibración de escenarios	29
5.2 Resultados y análisis de sensibilidad	31
6. DISCUSIÓN.....	37
6.1 Energía, polaridad y estabilidad: interpretación de los resultados.....	38
6.2 Implicaciones para el diseño de sanciones y la cooperación	40
6.3 Limitaciones del modelo.....	42
7. CONCLUSIONES.....	43
Bibliografía.....	45
Anexo	47
A.1 Extensión del Double Deterrence Game	47
A.2 Formalización de las condiciones C1-C3.....	49
A.3 Código fuente de la simulación.....	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación, pregunta de investigación e hipótesis

La estabilidad de la paz en el sistema internacional se analiza habitualmente en términos militares y de alianzas entre países. Sin embargo, en la rivalidad contemporánea entre las grandes potencias, los Estados Unidos de América, la República Popular China y la Federación Rusa, el petróleo y el gas operan como una dimensión más de poder, en 2024, los combustibles fósiles representaron el 87% del consumo energético global (Energy Institute, 2025), condicionan la capacidad de sostener operaciones prolongadas (The National Institute for Defense Studies, 2022) y la estabilidad doméstica vía inflación y crecimiento. También habilitan formas de coerción no militares como las sanciones, embargos, restricciones tecnológicas, manipulaciones de flujos y presiones sobre infraestructuras críticas. Estas formas de coerción pueden sustituir o complementar el uso directo de la fuerza (Bas, McLean, & Whang, 2017).

En un entorno donde la competencia estratégica se despliega de forma simultánea en el plano militar, económico y energético, la pregunta por la “paz duradera” no puede limitarse a balances militares. La interdependencia energética crea incentivos ambiguos: por una parte, puede elevar los costes de la escalada al internalizar pérdidas económicas; por otra, cuando la dependencia es asimétrica, puede convertirse en una vulnerabilidad explotable mediante cortes de suministro, shocks de precios o coerción sobre terceros, que altera la estructura de incentivos y abre ventanas oportunistas para presionar sin cruzar el umbral bélico, ya que, como señala Waltz, la interdependencia relevante es la vulnerabilidad mutua, una lógica claramente ilustrada por la crisis del petróleo de 1973 (Waltz, 1979).

Este trabajo se sitúa en el cruce entre teoría de juegos y geoeconomía de la energía, con un foco específico: evaluar hasta qué punto la paz tiende a ser más estable en entornos bipolares o tripolares cuando el petróleo y el gas son palancas estratégicas relevantes. La bipolaridad de la Guerra Fría, que Waltz (1979) consideraba la configuración más estable porque obligaba a cada superpotencia a corregir desequilibrios mediante esfuerzos internos, sin la incertidumbre de las alianzas, ha dado paso a una estructura donde tres actores poseen simultáneamente capacidad nuclear estratégica, influencia determinante sobre los flujos energéticos globales y voluntad declarada de proyectar poder más allá de sus fronteras.

La contribución del trabajo es triple:

- Teórica: propone un marco formal mínimo de disuasión y negociación en triada: defensor-retador primario-tercer actor latente, extendido para incorporar explícitamente la coerción energética como componente del conjunto de estrategias disponibles: sanciones y escalada militar.
- Analítica: integra la dimensión de redes: comercio energético, alianzas, sanciones y fragmentación, como modulador estructural de payoffs y creencias, permitiendo derivar predicciones comparativas sobre cuándo la interdependencia estabiliza y cuándo desestabiliza.
- Ilustrativa: implementa una simulación de Monte Carlo con 10.000 iteraciones sobre seis escenarios de estrés calibrados con datos empíricos (SIPRI, IEA, CREA), evaluando la robustez de las predicciones teóricas.

¿En qué condiciones la paz es más estable en un sistema tripolar, frente a uno bipolar, cuando existen palancas de coerción energética asociadas a petróleo y gas?

De esta pregunta se derivan tres subpreguntas:

1. Comparación estructural: ¿Cómo cambian las predicciones de escalada cuando se pasa de un marco bipolar a uno tripolar?
2. Mecanismo energético: ¿Cómo altera la interdependencia energética la credibilidad, la brecha de imposición y, en consecuencia, el riesgo de escalada?
3. Evaluación ilustrativa: ¿En qué medida los escenarios simulados reflejan las dinámicas observadas en crisis energéticas recientes (2014-2025)?

El objetivo principal del trabajo es comparar y contrastar las condiciones de estabilidad de la paz en un contexto tripolar, donde el petróleo y el gas afectan tanto a los incentivos como a la capacidad de sostener amenazas creíbles.

La hipótesis principal del trabajo es la siguiente: la transición de un sistema bipolar a uno tripolar reduce la estabilidad de la paz cuando la interdependencia energética es asimétrica y la red de comercio energético está fragmentada, porque (a) la asimetría en la dependencia crea incentivos para la coerción, (b) la fragmentación reduce el coste de oportunidad del conflicto bilateral, como defienden Martin et al. (2008), y (c) la presencia de un tercer actor amplifica los problemas de compromiso identificados por Powell (2006) al introducir la posibilidad de coaliciones cambiantes que alteran las expectativas

sobre la distribución futura de poder. Inversamente, la hipótesis predice que la paz estable es más probable cuando la brecha de imposición es baja, la credibilidad disuasoria es alta y la red energética es densa y no fragmentada, condiciones que se formalizan como C1, C2 y C3 en la sección 3.3.

1.2 Definiciones operativas y delimitación del alcance

Este trabajo adopta las siguientes definiciones operativas:

Paz estable: situación en la que ningún actor del sistema tiene incentivos unilaterales para alterar el statu quo mediante la fuerza o la coerción económica extrema, dada la configuración existente de capacidades, dependencias y compromisos creíbles. Esta definición sigue la distinción de Waltz (*Theory of International Politics*, 1979) entre estabilidad, mantenimiento de la estructura del sistema, y paz, ausencia de guerra entre grandes potencias, incorporando la coerción económica como forma de conflicto relevante para el análisis.

Tripolaridad: configuración del sistema internacional en la que tres Estados poseen simultáneamente (a) capacidad nuclear de segundo golpe, (b) participación determinante en las redes globales de comercio energético, y (c) capacidad y voluntad de proyectar poder militar más allá de su región inmediata. En el periodo analizado, estos tres actores son Estados Unidos, China y Rusia. Este TFG excluye actores como India o la Unión Europea, al carecer de capacidad de proyección militar global comparable.

Brecha de imposición (enforcement gap): diferencia entre el coste que asume el Estado coercitivo al imponer restricciones energéticas: pérdida de ingresos, reducción de cuota de mercado, coste reputacional, y el daño infligido al Estado objetivo: shock de precios, desabastecimiento, recesión. Una brecha alta favorece la coerción; una brecha baja la disuade.

Credibilidad: siguiendo a Zagare & Kilgour (2000), la probabilidad de que un actor prefiera ejecutar su amenaza a capitular. Se trata de una variable continua, no binaria, que depende de la relación entre las consecuencias esperadas de ejecutar la amenaza y los costes de aceptar la situación.

El alcance temporal del análisis abarca el periodo 2014-2025 en el que la rivalidad trilateral se ha intensificado visiblemente. El alcance geográfico se centra en las

interacciones entre EE. UU., China y Rusia, aunque se consideran los efectos sobre Europa, Oriente Medio y Asia Central como regiones afectadas por las dinámicas tripolares. El alcance temático se limita al petróleo y al gas natural como variables estratégicas, excluyendo otras fuentes de energía, que operan por mecanismos distintos a los analizados en este trabajo.

El trabajo se organiza en siete capítulos: tras esta introducción, el Capítulo 2 desarrolla el marco teórico, el Capítulo 3 analiza el petróleo y el gas como variables estratégicas, el Capítulo 4 presenta el modelo formal, el Capítulo 5 implementa seis escenarios calibrados, el Capítulo 6 discute los resultados y el Capítulo 7 concluye.

2. MARCO TEÓRICO: POLARIDAD, DISUASIÓN Y NEGOCIACIÓN ESTRATÉGICA

2.1 El debate bipolaridad vs. multipolaridad

La pregunta sobre cuántos polos producen mayor estabilidad ha sido una de las más discutidas en la teoría de las relaciones internacionales. La respuesta dominante durante décadas provino del realismo estructural de Kenneth Waltz, quien en *Theory of International Politics* argumentó que la bipolaridad es intrínsecamente más estable que cualquier configuración multipolar por tres razones fundamentales (1979).

La primera razón de Waltz es la fiabilidad del equilibrio interno. En un sistema bipolar, los desequilibrios se corrigen mediante esfuerzos internos, el armamento, la movilización económica, el desarrollo tecnológico, que son más precisos y controlables que la búsqueda de alianzas externas (Waltz, 1979). La segunda razón es la ausencia de incertidumbre sobre alianzas. En la multipolaridad, la flexibilidad de las alianzas paradójicamente genera rigidez estratégica, porque nadie sabe con certeza quién amenaza a quién ni quién se opondrá a quién ni quién está aliado a quién (Waltz, 1979). La tercera y última razón es la inexistencia de periferias: cuando solo dos potencias operan a escala global, cualquier acontecimiento en cualquier lugar es potencialmente relevante para ambas, lo que obliga a una vigilancia y moderación de los conflictos constantes (Waltz, 1979).

En su tratamiento de los umbrales numéricos, advirtió que los sistemas de tres potencias poseen características desfavorables para la paz: dos de las potencias pueden fácilmente

aliarse contra la tercera, repartir beneficios y empujar el sistema de vuelta hacia la bipolaridad (Waltz, 1979). Para Waltz, cuatro potencias constituyen el número mínimo aceptable para la multipolaridad, pues permite alineamientos externos con cierta estabilidad.

La posición contraria fue articulada por Deutsch y Singer (1964), quienes argumentaron que el tránsito de la bipolaridad a la multipolaridad reduce la frecuencia e intensidad de las guerras. Tres mecanismos sustentan la tesis: el aumento de diádas posibles genera conflictos transversales cuya superposición inhibe la escalada, la distribución de atención entre más rivales reduce la concentración sobre cualquiera de ellos, y la carrera armamentística se desacelera porque los incrementos de un actor se reparten entre varios oponentes. Los propios autores reconocen que la multipolaridad es inestable a largo plazo, el número de contendientes tiende a reducirse hacia bipolaridad o hegemonía, pero concluyen que la inestabilidad de los sistemas bipolares rígidos es sustancialmente mayor (Deutsch & Singer, 1964).

El realismo ofensivo de Mearsheimer (2001) aporta una tercera perspectiva que extiende el argumento de Waltz. Partiendo de cinco supuestos, anarquía, capacidad militar ofensiva, incertidumbre sobre intenciones, supervivencia como objetivo primario y racionalidad estratégica, construye una jerarquía de estabilidad: la bipolaridad es la más estable, la multipolaridad equilibrada es moderadamente peligrosa y la multipolaridad desequilibrada, con un hegemon potencial, es la más peligrosa (Mearsheimer, 2001). El mecanismo clave para la triada es el buck-passing: los Estados amenazados intentan trasladar la carga del equilibrio a otros, produciendo subdisuasión, un fenómeno imposible en la bipolaridad porque no existe un tercero que asuma la carga (Mearsheimer, 2001).

Tradición	Predicción para tripolaridad	Mecanismo clave	Relevancia para palancas energéticas
Realismo estructural (Waltz, 1979)	Desestabilizadora. Dos potencias pueden aliarse contra la tercera, empujando el sistema hacia la bipolaridad. Tres es el número «más desafortunado».	Equilibrio interno: los desequilibrios se corrigen con esfuerzos propios (armamento, economía), sin la incertidumbre de alianzas cambiantes.	La coerción energética añade una dimensión de <i>equilibrio interno</i> (autosuficiencia post- <i>shale</i>) y <i>externo</i> (sanciones coordinadas con aliados) no contemplada en el modelo original.

Multipolaridad estabilizadora (Deutsch & Singer, 1964)	Moderadamente estabilizadora, pero insuficiente: tres actores son demasiado pocos para activar plenamente los mecanismos de dispersión de atención y conflictos transversales.	Conflictos transversales (<i>cross-cutting cleavages</i>): la multiplicación de díadas distribuye la atención y reduce la concentración sobre cualquier rival.	La red de comercio energético puede generar conflictos transversales (M1) cuando es densa, pero la fragmentación en bloques los anula al superponer líneas energéticas y geopolíticas (C3).
Realismo ofensivo (Mearsheimer, 2001)	Muy desestabilizadora, especialmente si uno de los tres actores es un hegemon potencial (e.g., China por su trayectoria de crecimiento).	<i>Buck-passing</i> : los Estados amenazados intentan trasladar la carga del equilibrio a otros, produciendo subdisuasión imposible en bipolaridad.	Las palancas energéticas pueden compensar parcialmente el <i>buck-passing</i> al añadir un nivel de coerción graduada (sanciones) entre diplomacia y guerra, reduciendo el incentivo a trasladar la carga.

Tabla 1. Predicciones de las tres tradiciones teóricas sobre la estabilidad tripolar y su relevancia para palancas energéticas. Fuente: Elaboración propia a partir de Waltz (1979), Deutsch y Singer (1964) y Mearsheimer (2001).

2.2 Disuasión y escalada en triadas

Zagare y Kilgour (2000) resuelven la paradoja central de la disuasión: si ejecutar la amenaza es autodestructivo, ¿por qué iba a ser creíble? Su respuesta redefine la credibilidad como variable continua, la probabilidad de que un jugador prefiera cumplir su amenaza antes que ceder, en lugar de asumir que los actores parecen irracionales. En la triada, cada actor debe evaluar simultáneamente la credibilidad de dos rivales, lo que hace esta definición especialmente operativa.

El modelo central es el Juego de Escalada Asimétrica bajo Respuesta Flexible, un juego secuencial con información incompleta entre un Retador y un Defensor, cada uno clasificado por tipos que reflejan su disposición a escalar. Zagare y Kilgour identifican tres clases de Equilibrios Bayesianos Perfectos: Equilibrios de Disuasión, donde el statu quo se sostiene; Equilibrios de No Respuesta, donde el Defensor capitula; y Equilibrios de Disuasión Escalatoria, donde ambos escalan condicionalmente. Las conclusiones centrales son tres: tener capacidad militar no basta para disuadir, las preferencias de cada actor sobre el statu quo son determinantes, y una amenaza más creíble puede paradójicamente hacer el ataque más probable (Zagare & Kilgour, 2000).

Zagare (2024)¹, en *Two Against One*, extiende este marco a un Defensor frente a dos Retadores independientes. Su hallazgo clave es que el retador secundario impacta el equilibrio solo en niveles intermedios de credibilidad del defensor: cuando esta es claramente alta la disuasión funciona, cuando es claramente baja fracasa, y el tercer actor es determinante solo en la zona intermedia. Este resultado es fundamental para el modelo del Capítulo 4, porque implica que en la triada el tercer actor no es un espectador pasivo, sino un modulador que desestabiliza precisamente cuando la disuasión bilateral es más frágil.

La teoría de coaliciones completa el panorama. Caplow (1956), Gamson (1961) y Riker (1962) convergieron en una predicción común: en sistemas de tres actores, la coalición ganadora mínima es inherentemente un alineamiento de dos contra uno, porque los miembros más débiles maximizan su beneficio aliándose contra el más fuerte.²

2.3 Negociación bajo sombra de poder

La teoría de la negociación bajo sombra de poder proporciona los fundamentos para entender por qué la guerra ocurre entre actores racionales que podrían beneficiarse mutuamente de la paz. James D. Fearon en su artículo *Rationalist Explanations for War* (1995) pregunta por qué, aunque las guerras son costosas, son sin embargo recurrentes. Fearon demuestra que siempre existe un conjunto de acuerdos negociados que ambas partes prefieren a la guerra, el rango de negociación es el intervalo $(p - c_a, p + c_b)$, donde p es la probabilidad de victoria y c son los costes de la guerra (Fearon, 1995).

Fearon identifica dos mecanismos principales por los cuales los Estados racionales fracasan en encontrar este rango de negociación. El primero es la información privada con incentivos a tergiversar: los Estados tienen incentivos estratégicos para exagerar su voluntad o capacidad de luchar y ocultar vulnerabilidades; la comunicación barata, cheap talk, no puede resolver este problema, Fearon lo ilustra dando como ejemplos la crisis de julio de 1914 y la guerra rusojaponesa. El segundo mecanismo son los problemas de

¹ El artículo de Zagare (2024) fue publicado en *Peace Economics, Peace Science, and Public Policy* y constituye, hasta donde alcanza esta revisión bibliográfica, la primera formalización de la disuasión en triadas mediante Equilibrios Bayesianos Perfectos con tipos diferenciados para los tres actores. Dado lo reciente de su publicación, sus resultados apenas han sido aplicados empíricamente. El presente trabajo es, por tanto, uno de los primeros en extender este marco al ámbito de la coerción energética, lo que constituye una de sus contribuciones originales.

² Schweller (1998) aplicó esta lógica al sistema tripolar previo a la Segunda Guerra Mundial (Alemania, Unión Soviética, Estados Unidos), clasificando a los Estados por capacidad e intereses.»

compromiso: los Estados pueden ser incapaces de alcanzar un resultado negociado eficiente cuando, por razones estructurales, no pueden confiar en que el otro mantendrá el acuerdo. Esto incluye la guerra preventiva por desplazamientos anticipados de poder y la guerra por territorios que son fuente de poder militar, porque las concesiones cambian el apalancamiento futuro de negociación (Fearon, 1995).

Robert Powell extiende este marco en dos etapas. En *Bargaining in the Shadow of Power* (1996) y en *In the Shadow of Power* (1999) modela la negociación interestatal donde el uso de la fuerza sirve como opción externa. Bajo información completa el reparto refleja la distribución de poder y nadie combate; bajo información asimétrica, los incentivos para aparentar mayor determinación pueden romper la negociación. Una implicación contraintuitiva es que ni la igualdad de poder ni la supremacía absoluta garantizan la paz: el fuerte demanda más, y si sus demandas no dejan margen de supervivencia, incluso el débil prefiere combatir (Powell, 1999; Powell, 1996).

En el artículo *War as a Commitment Problem* (2006), Powell argumenta que las llamadas indivisibilidades, la idea de que ciertos bienes no pueden dividirse y por eso generan guerra, no son en realidad una causa independiente del conflicto: son un problema de compromiso disfrazado. Cualquier bien, incluso un territorio físicamente indivisible, puede asignarse probabilísticamente de forma que ambas partes estén mejor que combatiendo; ese acuerdo siempre existe porque la guerra es costosa (Powell, 2006). El verdadero problema es que los Estados no pueden comprometerse creíblemente a respetarlo: si un actor obtiene el territorio hoy y eso fortalece su posición, mañana tendrá incentivos para renegociar en mejores condiciones, y el otro lo anticipa. Un único mecanismo subyacente, desplazamientos grandes y rápidos en la distribución de poder, explica así la guerra preventiva, los ataques agresivos y los conflictos sobre recursos estratégicos: en todos los casos, el problema no es el desacuerdo presente, sino la imposibilidad de garantizar que los compromisos se sostendrán cuando la correlación de fuerzas haya cambiado (Powell, 2006). Esta unificación teórica es la pieza más relevante para el modelo del Capítulo 4, porque los tres canales que Powell agrupa bajo un mismo mecanismo, guerra preventiva, ataques agresivos y conflictos por recursos, tienen traducción directa en la triada energética: los desplazamientos de rentas por fluctuaciones de precios (M4), la construcción de infraestructura alternativa que altera el apalancamiento futuro, y la competencia por rutas de tránsito constituyen variantes del mismo problema de compromiso.

2.4 Compromisos y manipulación estratégica

Thomas Schelling (1960) proporciona el marco conceptual para entender cómo los actores comunican intenciones y manipulan expectativas en entornos de conflicto estratégico. Su paradoja central es que un actor puede fortalecer su posición empeorando a propósito sus propias opciones, la paradoja del compromiso. Dos conceptos de Schelling son especialmente relevantes para la coerción energética.

El primero es el compromiso como eliminación de opciones: para que una amenaza sea creíble, el actor amenazante debe eliminar visiblemente su capacidad de retractarse. Si conserva vías de escape visibles, la credibilidad se desploma. En el contexto energético, esto explica por qué las sanciones con excepciones amplias reducen su efecto disuasorio: el objetivo percibe que el coste de ejecución ha sido diseñado para ser evitable y, por tanto, que el compromiso no es real.

El segundo es la amenaza que deja algo al azar: crear una situación donde ni el propio amenazante controla del todo el desenlace. Amenazar con un riesgo en lugar de con una certeza constituye una amenaza menor pero más creíble, especialmente cuando el castigo masivo resulta suicida. En la coerción energética, los cortes parciales de suministro y las señales ambiguas sobre futuras restricciones operan precisamente así.

2.5 Cooperación iterada, reputación y disciplina estratégica

El último pilar teórico es la cooperación iterada, desarrollada por Axelrod (1984). Su concepto central para este trabajo es la sombra del futuro: cuando los jugadores anticipan interacciones repetidas, las elecciones presentes influyen en las futuras, y la cooperación basada en reciprocidad puede emerger incluso sin autoridad central. El parámetro de descuento w mide cuánto valen los pagos futuros respecto a los presentes; cuando w es suficientemente alto, estrategias recíprocas como TIT FOR TAT son colectivamente estables (Axelrod, 1984)³.

³ Axelrod organizó dos torneos por ordenador en los que investigadores de diversas disciplinas enviaron estrategias programadas para jugar al Dilema del Prisionero iterado. Cada estrategia se enfrentó a todas las demás en rondas repetidas, y la puntuación acumulada determinó el ganador. En ambos torneos venció TIT FOR TAT, la estrategia más sencilla de todas, que coopera en el primer movimiento y luego replica la última acción del rival (Axelrod, 1984).

Las estrategias exitosas en los torneos de Axelrod comparten cuatro propiedades: amabilidad (no ser el primero en desertar), provocabilidad (castigar la deserción), perdón (volver a cooperar tras castigar) y claridad (ser comprensible para el otro jugador). Para promover la cooperación, Axelrod propone entre otras vías, alargar la sombra del futuro, cambiar los pagos, enseñar a valorar el bienestar ajeno, enseñar la reciprocidad y mejorar las capacidades de reconocimiento (Axelrod, 1984).

La aplicación al comercio energético es directa, pero requiere matices. Los contratos a largo plazo, las infraestructuras cuya amortización se mide en décadas y las dependencias mutuas acumuladas alargan la sombra del futuro y, según la teoría, deberían facilitar la cooperación incluso entre adversarios. Sin embargo, tres complicaciones distinguen el caso energético del modelo estándar: la asimetría de roles (exportador, importador, productor), la multilateralidad de las interacciones y la observabilidad imperfecta de las acciones. Estas complicaciones se formalizan como mecanismos M2-M4 en la sección 3.3. La predicción fundamental es que cuando la sombra del futuro se acorta, por proveedores alternativos, terminales de GNL o avances en renovables, los incentivos para la deserción aumentan y la cooperación se fragiliza.

3. PETRÓLEO Y GAS COMO VARIABLE ESTRATÉGICA

3.1 Interdependencia energética, vulnerabilidad y estructura del sistema global

El marco conceptual de la interdependencia energética reposa sobre la distinción establecida por Keohane y Nye (2012) entre interdependencia de sensibilidad, el grado de respuesta inmediata dentro de un marco de política dado, e interdependencia de vulnerabilidad, que mide los costes de ajuste una vez consideradas todas las alternativas disponibles. Este trabajo opera exclusivamente con la vulnerabilidad, porque es la dimensión que determina el apalancamiento estratégico: son las asimetrías en la dependencia las que proporcionan fuentes de influencia, ya que los actores menos dependientes pueden utilizar la relación de interdependencia como fuente de poder (Keohane & Nye, 2012). Waltz (1979) ya había advertido que la interdependencia políticamente relevante es la vulnerabilidad mutua, ilustrando esta lógica con la crisis del petróleo de 1973: el embargo de la OPEP expuso que la dependencia de recursos externos crea un apalancamiento que otros pueden emplear como arma.

Esta distinción adquiere una dimensión estratégica cuando se traduce al lenguaje de la negociación bajo sombra de poder. En el modelo de Fearon (1995), el rango de negociación entre dos actores depende del intervalo $(p - c_a, p + c_b)$. La vulnerabilidad energética opera directamente sobre estos costes: un Estado que depende críticamente de las importaciones energéticas de su rival enfrenta costes de conflicto mayores, porque cualquier escalada amenaza con un shock de precios o un corte de suministro que se suma a los costes militares directos.

Este efecto tiene una consecuencia dual. Por un lado, amplía el rango de acuerdos que el Estado vulnerable prefiere a la guerra, lo que en principio favorece la paz. Por otro, desplaza el reparto negociado en favor del Estado menos vulnerable, que puede exigir concesiones más ambiciosas sabiendo que el otro tiene más que perder. La paradoja que Powell (1996) identifica opera aquí con claridad: cuanto mayor es la vulnerabilidad energética de un actor, más dispuesto está a hacer concesiones, pero cuanto más ambiciosas son las demandas del actor menos vulnerable, mayor es el riesgo de que incluso el débil prefiera resistir antes que aceptar condiciones abusivas.

Cherp y Jewell (2014) precisan este marco definiendo la seguridad energética como la baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales, donde la vulnerabilidad combina exposición a riesgos y capacidad de resiliencia. Esta definición es más operativa para el presente trabajo porque convierte la seguridad energética en una variable inherentemente asimétrica: su contenido depende de la posición del actor en el sistema, lo que varía según se trate de un exportador, un importador o un productor autoabastecido.

La dependencia de los hidrocarburos asegura que el petróleo y el gas son variables estratégicas relevantes durante el periodo analizado en este trabajo (1991-2025), y que los mecanismos teóricos de coerción, negociación y compromiso que el Capítulo 2 desarrolla, encuentran en el mercado energético su campo de aplicación más directo.

La Tabla 2 sintetiza los perfiles energéticos asimétricos de los tres actores y su conexión con las variables del modelo formal. La asimetría de posiciones, productor autoabastecido, importador masivo, exportador dependiente de rentas, activa los mecanismos de escalada y negociación del Capítulo 2 y genera la lógica de coaliciones dos contra uno que la sección 2.2 identifica como inherente a los sistemas tripolares.

Actor	Rol energético	Vulnerabilidad clave	Palanca estratégica principal	Variable del modelo afectada
EE. UU. (D)	Productor autoabastecido + exportador neto de GNL desde 2019. Tres grandes cuencas <i>shale</i> (Bakken, Eagle Ford, Permian).	Baja. La revolución del <i>shale</i> ⁴ ha reducido la dependencia de importaciones. Sensibilidad residual a la inflación energética (demostrada en 2022).	Sanciones financieras y energéticas + oferta alternativa de GNL a aliados europeos. Control del sistema financiero global (SWIFT, dólar).	Reduce c_A (Fearon, 1995): un país autoabastecido enfrenta menores costes de conflicto en su dimensión energética y puede sostener posiciones más firmes. Eleva G (brecha de imposición, M3).
China (R1)	Importador masivo: 74 % del petróleo y 42 % del gas consumido (IEA, 2024). Estrategia de diversificación por corredores terrestres (Zhao, Zhang & Kamran, 2024).	Alta. Dependencia crítica de rutas marítimas (Estrecho de Malaca) y, crecientemente, de gasoductos terrestres con Rusia y Asia Central.	Diversificación de proveedores para reducir vulnerabilidad bilateral. Capacidad de neutralizar sanciones como comprador alternativo de crudo ruso.	Eleva c_B (Fearon, 1995): los costes macro de un conflicto que interrumpa el suministro son elevados ($\gamma R1 = 0,35$). Activa M2 (diversificación) y puede reducir G al no cooperar con sanciones.
Rusia (R2)	Exportador dependiente de rentas: los hidrocarburos representan el 63 % de las exportaciones (Trading Economics, 2026). Correlación prácticamente unitaria entre ingresos petroleros y gasto militar (Milov, 2024).	Alta, pero distinta: vulnerable a caídas de precios y a sanciones que restrinjan el acceso a mercados. Resiliencia parcial vía flota en la sombra (69 % del crudo en sept. 2025; CREA, 2026).	Uso dual de la energía: subsidios como incentivo para aliados y cortes como castigo para adversarios (Newnham, 2011). Manipulación de volúmenes y señales ambiguas.	Los ingresos energéticos financian directamente la capacidad militar, generando desplazamientos de poder (M4; Powell, 2006). Las rentas elevan $\beta R2$ y condicionan la credibilidad ($pR2$). La evasión de sanciones reduce endógenamente G .

Tabla 2. Perfiles energéticos asimétricos de los tres actores de la triada y su conexión con las variables del modelo formal. Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2024), CREA (2026), Trading Economics (2026), Milov (2024), Zhao, Zhang y Kamran (2024).

3.2 Sanciones energéticas: diseño, enforcement y evasión

Smith Stegen define el arma energética como uso por parte de un Estado proveedor de sus recursos para castigar o coaccionar a sus clientes, aunque su análisis concluye que Rusia fracasó con mayor frecuencia de la que tuvo éxito en obtener concesiones políticas (Smith Stegen, 2011). Las condiciones para la eficacia son tres: monopolio del proveedor, ausencia de alternativas para el consumidor y voluntad política respaldada por resiliencia doméstica. Newnham documenta el uso dual ruso de la energía, subsidios como incentivo para aliados y cortes como castigo para adversarios (Newnham, 2011).

El marco de Schelling (1960) permite reinterpretar esta eficacia limitada. Las sanciones con excepciones amplias reducen su efecto disuasorio porque el objetivo percibe que el compromiso no es real, el coste de ejecución ha sido diseñado para ser evitable.

⁴ El shale es una roca sedimentaria de grano fino compuesta por partículas de arcilla y limo compactadas, con permeabilidad muy baja, que actúa simultáneamente como roca generadora y como reservorio de hidrocarburos (U.S. Energy Information Administration, 2013). La extracción comercial de gas y petróleo atrapados en estas formaciones, denominados genéricamente hidrocarburos no convencionales, fue posible gracias a la combinación de fracturación hidráulica (fracking) y perforación horizontal, tecnologías cuyo desarrollo escalable a partir de mediados de la década de 2000 transformó a Estados Unidos de importador neto a exportador neto de gas natural y alteró la estructura del mercado energético global.

Inversamente, la prohibición europea de importaciones de crudo ruso por vía marítima a partir de diciembre de 2022 constituyó un compromiso más creíble que los toques de precios, precisamente porque era más difícil de revertir (Consejo de la UE, 2025). El segundo concepto de Schelling desarrollado en la sección 2.3, la amenaza que deja algo al azar, opera con igual claridad: los cortes parciales de suministro y las señales ambiguas sobre futuras restricciones funcionan como creación deliberada de un riesgo que nadie controla del todo. La crisis gasística ruso-ucraniana de 2009 ilustra esta lógica: Rusia no cortó todo el gas a Europa, sino que generó una situación de riesgo parcial que elevó los costes percibidos sin desencadenar una escalada (Smith Stegen, 2011).

Sin embargo, amenazar con sanciones suele ser más eficaz que imponerlas: Whang, McLean y Kuberski (2013) muestran que, en diadas con alta interdependencia, las amenazas extraen concesiones con mayor frecuencia, especialmente cuando la opción militar es inviable. Bas, McLean y Whang (2017) extienden este resultado demostrando que la coerción no militar y la militar operan como sustitutos estratégicos: los Estados recurren a sanciones y presiones económicas precisamente en los contextos donde el uso de la fuerza es menos viable, lo que justifica formalmente la inclusión de la coerción energética como nivel intermedio en el modelo del Capítulo 4.

La evasión constituye el tercer eje del régimen de sanciones energéticas. Tras la imposición del tope de precios del G-7 sobre el crudo ruso en diciembre de 2022, Rusia desarrolló una flota en la sombra (*shadow fleet*) de centenares de petroleros que operan fuera del sistema occidental de seguros y servicios marítimos, exportando crudo por encima del tope mediante cambios de bandera, transferencias de carga en alta mar, empresas pantalla en jurisdicciones opacas y aseguradoras no occidentales (Cardoso, Salant, & Daubanes, 2025). En términos del marco teórico, la evasión reduce la brecha de imposición: cuanto más eficaz es, menor el daño real infligido respecto al coste asumido por el sancionador, erosionando la credibilidad de la amenaza (Zagare & Kilgour, 2000). Simultáneamente, la inversión rusa en capacidad de evasión constituye un desplazamiento de poder en el sentido de Powell (2006): los compromisos sancionadores presentes pierden eficacia futura porque el objetivo ha construido infraestructura para neutralizarlos. La evasión también acorta la sombra del futuro del régimen sancionador: si los actores perciben que las sanciones son evitables, los incentivos para cooperar con su imposición disminuyen (Axelrod, 1984).

En el marco de Fearon (1995), las sanciones energéticas generan información privada con incentivos a tergiversar, los costes reales de un embargo, la capacidad de sustitución de proveedores y las reservas estratégicas disponibles son información que cada actor tiene incentivos a exagerar o minimizar.

De este análisis emerge la brecha de imposición (enforcement gap) como variable clave: la diferencia entre el daño infligido al objetivo y el coste asumido por el sancionador. Cuando esta brecha es alta, la amenaza es creíble porque ejecutarla sale barato; cuando es baja, el objetivo puede esperar que la amenaza no se cumpla (Zagare & Kilgour, 2000).

3.3 Dinámica temporal, mecanismos causales y condiciones de paz estable

La volatilidad de los precios del petróleo y el gas constituye una unión entre la geopolítica energética y la estabilidad sistémica. Pinchetti (2024) propone una distinción clave: los shocks geopolíticos energéticos, donde riesgo geopolítico y precios suben conjuntamente por temores de interrupción del suministro, y los shocks geopolíticos macroeconómicos, donde el riesgo sube, pero los precios caen por preocupaciones de demanda. La distinción es relevante porque diferentes tipos de acciones coercitivas generan shocks de naturaleza distinta. Las rentas extraordinarias generadas por precios altos tienen un efecto dual: financian la capacidad militar de los exportadores, especialmente Rusia (Costa Silva, 2017), provocando desplazamientos de poder que generan problemas de compromiso (Powell, 2006); pero la volatilidad también genera vulnerabilidad doméstica, la caída de precios de 2014-2016, combinada con sanciones occidentales, llevó a la economía rusa a la recesión (Costa Silva, 2017), debilitando significativamente su posición en la triada. Para el modelo formal del capítulo 4, la volatilidad se incorpora como modulador de los payoffs: precios altos amplían la brecha de imposición y la capacidad de los exportadores, pero aumentan la vulnerabilidad de los importadores; precios bajos invierten la relación, pero acortan la sombra del futuro al hacer viables las alternativas de suministro.

Del análisis de las secciones 3.1 y 3.2 se extraen cinco mecanismos que vinculan la dimensión energética con la probabilidad de escalada.

M1: Coste de oportunidad bilateral (pacificador). Un aumento de la apertura comercial bilateral reduce la probabilidad de disputa militarizada, porque la escalada destruye ganancias que ambas partes valoran, ampliando el rango de negociación (Fearon, 1995; Martin, Mayer, & Thoenig, 2008). En el contexto energético, los contratos gasísticos de

largo plazo entre dos actores de la triada elevan el coste de oportunidad de un conflicto directo entre ellos. En el modelo formal (sección 4.2), M1 opera a través de los componentes R_i (rentas energéticas) y C_i (costes macroeconómicos): cuanto mayor es el volumen de comercio bilateral, mayores son las pérdidas asociadas a la escalada. M1 sostiene la condición C3 cuando la red comercial es densa.

M2: Diversificación y reducción de dependencia bilateral (desestabilizador). La apertura comercial multilateral eleva la probabilidad de conflicto bilateral al reducir la dependencia con cualquier socio (Martin, Mayer, & Thoenig, 2008). Cuando un importador diversifica sus fuentes energéticas, disminuye el coste de oportunidad de un conflicto con cada proveedor, debilitando el incentivo a hacer concesiones. La estrategia china de corredores terrestres alternativos, analizada en la sección 3.1, ilustra esta dinámica: al reducir la dependencia marítima, China gana resiliencia, pero simultáneamente debilita el efecto pacificador bilateral de M1 con cada proveedor. M2 opera en sentido contrario a M1 y erosiona C3 cuando la diversificación sustituye la dependencia bilateral sin generar interdependencias.

M3: Brecha de imposición y credibilidad coercitiva (ambiguo). La brecha de imposición (definida en la sección 1.2 y analizada en la sección 3.2) tiene un efecto no lineal. En triadas, el tercer actor altera el equilibrio precisamente cuando la credibilidad se sitúa en niveles intermedios (Zagare, 2024), y una brecha excesivamente alta puede incentivar el uso ofensivo de la coerción, activando una lógica preventiva en el objetivo (Powell, 2006). M3 determina C1: la paz estable requiere una brecha suficiente para disuadir, pero no tan amplia que invite a la coerción oportunista.

M4: Desplazamiento de poder por rentas energéticas (desestabilizador). Como se analizó en el apartado sobre volatilidad de precios, las fluctuaciones redistribuyen recursos entre exportadores e importadores. Los desplazamientos grandes y rápidos generan problemas de compromiso porque los acuerdos negociados bajo una correlación de fuerzas pierden sostenibilidad cuando esa correlación cambia (Powell, 2006). En la triada, este efecto se amplifica porque los movimientos de precios afectan asimétricamente a cada actor: un shock alcista beneficia a Rusia y perjudica a China, mientras que Estados Unidos, se ve relativamente menos afectado. Esta asimetría impide la estabilización de expectativas sobre la distribución futura de poder. En el modelo formal, M4 opera como un descuento sobre el payoff del statu quo para el actor que anticipa un deterioro de su posición, y compromete simultáneamente las condiciones C1 y C2.

M5: Acortamiento de la sombra del futuro (desestabilizador). Los proveedores alternativos, la expansión de terminales de GNL y los avances en renovables reducen el horizonte temporal esperado de las relaciones energéticas bilaterales. Cuando el parámetro de descuento w disminuye, la cooperación basada en reciprocidad se fragiliza porque los pagos futuros pierden peso frente a los presentes (Axelrod, 1984). En la triada, el efecto es multiplicativo: cada actor anticipa que los otros dos también enfrentan horizontes más cortos, lo que retroalimenta la desconfianza y debilita el componente reputacional ρ_i de la función de utilidad (sección 4.2). M5 erosiona las tres condiciones de paz estable al reducir los incentivos cooperativos que sostienen C1 (disposición a mantener regímenes sancionadores), C2 (credibilidad de compromisos a largo plazo) y C3 (densidad de vínculos comerciales).

Los cinco mecanismos están mediados por la estructura de la red energética internacional. Dorussen y Ward (2010) demuestran que tanto los vínculos comerciales directos como los indirectos tienen efecto pacificador, y que la integración general en la red se ha vuelto más importante que los vínculos bilaterales específicos. Dos variables condensan estos efectos: la densidad (proporción de conexiones efectivas sobre el total posible) y la fragmentación (grado de división en componentes desconectados). Una red densa amplifica M1 al multiplicar las partes interesadas en la estabilidad de cada relación bilateral. Una red fragmentada en bloques alineados con las potencias de la triada anula los mecanismos de conflictos transversales que Deutsch y Singer (1964) identificaban como estabilizadores, porque las líneas de tensión energética se superponen con las geopolíticas en lugar de cortarlas.

La síntesis de los mecanismos y la variable de red permite formular la proposición central del trabajo: la paz estable en la triada es más probable cuando se cumplen simultáneamente tres condiciones.

C1- Brecha de imposición baja: el coste de imponer sanciones energéticas es comparable al daño infligido, lo que reduce la credibilidad de la amenaza coercitiva (Zagare & Kilgour, 2000). C1 no requiere que la brecha sea insignificante, sino que se sitúe por debajo del umbral a partir del cual D tiene incentivos para emplear sanciones ofensivamente.

C2- Credibilidad disuasoria alta: cada actor tiene una probabilidad elevada de ejecutar su amenaza de retaliación; en la triada la disuasión es robusta cuando la credibilidad del

defensor es claramente alta, y frágil en niveles intermedios donde el tercer actor actúa como oportunista latente (Zagare, 2024).

C3- Red energética densa y no fragmentada: la diversificación actúa como seguro contra la coerción sin eliminar la dependencia bilateral hasta el punto donde el efecto multilateral desestabilizador de Martin et al. (2008) supere al efecto bilateral pacificador.

De estas condiciones se derivan cuatro predicciones comparativas:

P1. Cuando C1, C2 y C3 se cumplen simultáneamente, la tripolaridad puede ser tan estable como la bipolaridad porque los mecanismos desestabilizadores de la triada están contenidos.

P2. Cuando C1 falla, la tripolaridad es menos estable que la bipolaridad porque el tercer actor puede explotar la coerción energética como instrumento oportunista, una opción inexistente en la bipolaridad.

P3. Cuando C3 falla, la tripolaridad converge hacia una bipolaridad de bloques que carece de las ventajas estabilizadoras de la bipolaridad clásica: los bloques son coaliciones, no Estados unitarios, y no pueden corregir desequilibrios mediante esfuerzos puramente internos.

P4. Las fluctuaciones de precios generan transiciones cíclicas entre configuraciones, alterando simultáneamente C1, C2 y C3, lo que produce los errores de cálculo que Fearon (1995) identifica como causa de la guerra.

Estas proposiciones constituyen el programa teórico que el Capítulo 4 traduce a un juego de forma extensiva con payoffs calibrables y equilibrios computables. Dos configuraciones adicionales merecen atención prospectiva: la convergencia energética entre los dos retadores, que activa la lógica de coalición dos contra uno y erosiona simultáneamente C1 y C3; y la transición energética acelerada, que acorta estructuralmente la sombra del futuro (M5) y genera desplazamientos de poder anticipados (M4) al redistribuir rentas entre exportadores e importadores.

4. MODELO FORMAL: JUEGO TRIPOLAR CON PALANCAS ENERGÉTICAS

Este capítulo traduce los mecanismos causales (M1-M5) y las condiciones de paz estable (C1-C3) formulados en la sección 3.3 a un juego de forma extensiva. El modelo extiende el Double Deterrence Game de Zagare (2024) incorporando la coerción energética como acción intermedia entre la concesión y la escalada militar.

4.1 Jugadores, preferencias y supuestos y estructura del juego

El modelo asigna tres roles asimétricos siguiendo la estructura de Zagare (2024). El Defensor (D) es Estados Unidos, garante del statu quo. El Retador Primario (R1) es China, cuya demanda de revisión del orden es inmediata (Mearsheimer, 2001). El Retador Secundario (R2) es Rusia, cuya amenaza es contingente y latente: se activa tras las decisiones de D y R1. La distinción entre R1 y R2 no es de poder relativo, sino de inmediatez temporal (Zagare, 2024).

Cada jugador se clasifica según su disposición a ejecutar amenazas, con la credibilidad entendida como variable continua (Zagare & Kilgour, 2000). D puede ser Firme, Semi-Firme, Sumiso o Semi-Sumiso, cuatro tipos que difieren en si prefieren el conflicto a la capitulación y en cómo ordenan los conflictos bilaterales frente al simultáneo. R1 puede ser Determinado, continúa la confrontación incluso ante resistencia, Vacilante, se retira si D resiste, o Cautó. El tipo Cautó es la innovación clave de Zagare (2024) respecto al modelo bipolar de Zagare y Kilgour (2000), pues su disposición a continuar depende de la expectativa sobre el comportamiento de R2, introduciendo interdependencia estratégica entre retadores: un R1 Cautó modula su agresividad en función de si espera apoyo u oportunismo del tercer actor. R2 combina dos dimensiones, persistencia, disposición a arriesgar conflicto bilateral con D y oportunismo, disposición a explotar un conflicto D-R1 ya existente, en tres subtipos: Persistente/Oportunista, Contenido/Oportunista y Contenido/Renuente (Zagare, 2024). En términos energéticos, el tipo de D depende de su capacidad de sostener sanciones sin daño doméstico significativo; el de R1, de sus reservas estratégicas y capacidad de sustitución de proveedores; el de R2, de su resiliencia ante la pérdida de rentas por exportación.

El modelo adopta cinco supuestos:

(S1) Racionalidad estratégica: cada jugador maximiza su utilidad esperada dada su información (Zagare & Kilgour, 2000).

(S2) Información incompleta sobre tipos: cada jugador conoce su tipo, pero posee solo distribuciones de probabilidad sobre los tipos rivales; sea $pD = \Pr(D \text{ es Firme})$, $pR1 = \Pr(R1 \text{ es Determinado})$ y $pR2 = \Pr(R2 \text{ es Persistente/Oportunista})$, que reflejan la credibilidad de cada actor como variable continua (Zagare & Kilgour, 2000).

(S3) Coerción energética como nivel intermedio: las sanciones energéticas constituyen un umbral distinto tanto de la diplomacia como de la fuerza militar (Schelling, 1960).

(S4) Asimetría de dotaciones energéticas: D es productor con baja vulnerabilidad, R1 importador masivo y R2 exportador dependiente de rentas (sección 3.1), lo que genera payoffs diferenciados para las mismas acciones.

(S5) Juego de una ronda con sombra del futuro incorporada en payoffs: se opta por un juego estático por dos razones: (i) tratabilidad analítica, ya que un juego repetido con información incompleta y tres jugadores genera un espacio de equilibrios intratable; y (ii) coherencia con la literatura de referencia, pues tanto Zagare y Kilgour (2000) como Zagare (2024) resuelven juegos de una ronda. La limitación se reconoce explícitamente en la sección 6.3. La repetición se captura indirectamente a través del componente reputacional ρ_i de la función de utilidad (sección 4.2) y del parámetro de descuento w (Axelrod, 1984) que ponderan los costes futuros de cada decisión presente. Esta elección permite resolver el juego mediante Equilibrios Bayesianos Perfectos sin las complicaciones de los equilibrios en estrategias de historia dependiente propios de los juegos repetidos con información incompleta.

El Capítulo 5 implementa una versión computacional simplificada del juego mediante simulación de Monte Carlo. En lugar de derivar analíticamente los 36 equilibrios bajo información completa (4 tipos de D \times 3 de R1 \times 3 de R2), la simulación sorteja tipos aleatorios y resuelve el juego por inducción hacia atrás con ruido gaussiano que captura la información incompleta. Este enfoque permite evaluar la distribución de resultados bajo miles de configuraciones de parámetros, complementando la resolución analítica con un análisis de sensibilidades.

4.2 Estrategias disponibles y payoffs: seguridad, rentas energéticas, costes macroeconómicos y reputación

R1 dispone de: Cooperar, Demandar, Ceder, Contracoerción energética y Escalar. D dispone de: Ceder, Coerción energética, Resistencia militar y Re-escalar. R2 dispone de: Abstenerse y Demandar. La coerción energética (E) engloba sanciones, restricciones tecnológicas, bloqueo financiero y manipulación de volúmenes; impone costes al objetivo sin cruzar el umbral militar, pero requiere que el actor coercitivo asuma costes propios, lo que determina la credibilidad del movimiento.

Los payoffs de cada jugador se descomponen en cuatro componentes que reflejan las dimensiones relevantes del sistema tripolar energético. Para cada jugador i y resultado k , la utilidad es:

Ecuación 1

$$U_i(k) = \alpha_i \cdot S_i(k) + \beta_i \cdot R_i(k) - \gamma_i \cdot C_i(k) + \delta_i \cdot \rho_i(k)$$

donde $S_i(k)$ es la seguridad del actor i en el resultado k , medida como la proporción de poder relativo que retiene; $R_i(k)$ son las rentas energéticas netas para exportadores (ingresos por exportación) o la seguridad de suministro energético para importadores (grado de acceso asegurado a los mercados energéticos globales). $C_i(k)$ son los costes macroeconómicos del resultado (destrucción económica, inflación, recesión); y $\rho_i(k)$ es la reputación, que captura el efecto de la sombra del futuro sobre interacciones subsiguientes. Los pesos $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i > 0$ reflejan las prioridades relativas de cada actor y difieren según su posición en el sistema. Para D (Estados Unidos), el componente de seguridad α_D domina dado su rol de garante del statu quo; para R2 (Rusia), las rentas energéticas β_{R2} tienen un peso desproporcionado porque financian directamente su capacidad militar y su estabilidad doméstica; para R1 (China), los costes macroeconómicos γ_{R1} son especialmente relevantes dada su dependencia de importaciones energéticas para sostener el crecimiento.

Resultado	D (EE. UU.)				R1 (China)				R2 (Rusia)			
	S	R	C	ρ	S	R	C	ρ	S	R	C	ρ
Statu Quo	1.00	0.70	0.00	1.00	0.60	0.50	0.00	0.50	0.50	0.70	0.00	0.50
Concesión D	0.40	0.60	0.10	0.10	0.90	0.70	0.05	0.90	0.60	0.70	0.00	0.60
CEL	0.80	0.40	0.30	0.70	0.50	0.30	0.40	0.60	0.60	0.50	0.20	0.50
Bilateral D–R1	0.70	0.20	0.70	0.80	0.30	0.10	0.80	0.70	0.70	0.60	0.10	0.40
Simultáneo	0.50	0.10	0.90	0.60	0.20	0.05	0.90	0.50	0.30	0.10	0.80	0.60
Oportunismo R2	0.30	0.50	0.20	0.00	0.80	0.60	0.10	0.80	0.80	0.80	0.10	0.80

Tabla 3. Payoffs base (S, R, C, ρ) por resultado y jugador. Todos los valores se encuentran normalizados en el intervalo [0, 1]. Fuente: Elaboración propia; calibración descrita en la sección 5.1. Nota: Si = seguridad; Ri = rentas energéticas / seguridad de suministro; Ci = costes macroeconómicos; ρ = reputación. La utilidad de cada jugador se calcula como (Ec. 1). CEL = Conflicto Energético Limitado.

"Cada componente de la ecuación 1 se ancla directamente a un mecanismo teórico (Tabla 4).

Mecanismo	Componente afectado	Dirección	Anclaje teórico
M1: Coste de oportunidad bilateral	R_i, C_i	Pacificador	Fearon (1995); Martin et al. (2008)
M2: Diversificación	C_i	Desestabilizador	Martin et al. (2008)
M3: Brecha de imposición	Credibilidad (p_i)	Ambiguo	Zagare y Kilgour (2000); Zagare (2024)
M4: Desplazamiento de poder	R_i, S_i	Desestabilizador	Powell (2006)
M5: Sombra del futuro	ρ_i, w	Desestabilizador	Axelrod (1984)

Tabla 4. Síntesis de mecanismos causales y componentes de la función de utilidad. Véase sección 3.3 para el desarrollo formal completo. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Equilibrios, condiciones de paz estable y estática comparada

El juego se resuelve mediante inducción hacia atrás bajo información completa y mediante Equilibrios Bayesianos Perfectos bajo información incompleta, siguiendo la metodología de Zagare (2024) y Zagare y Kilgour (2000). La extensión al caso con palancas energéticas no altera el método de solución, sino que amplía el espacio de estrategias y resultados⁵.

⁵ Las demostraciones formales se desarrollan en el Anexo A.2

Las siete proposiciones del modelo se resumen a continuación. Las cuatro primeras extienden directamente resultados de Zagare (2024); las tres últimas son consecuencia de la incorporación de palancas energéticas.

Proposición 1 (Disuasión exitosa). El statu quo se sostiene cuando D es Firme o Semi-Firme, cuando R1 es Vacilante, o cuando R1 es Cauto y R2 es Contenido/Renuente. La extensión energética añade que, cuando la brecha de imposición favorece a D, la sola amenaza de sanciones puede disuadir incluso a un R1 Determinado, resultado imposible sin palancas energéticas.

Proposición 2 (Fracaso de la disuasión). La disuasión fracasa cuando R1 es Determinado y D es Sumiso o Semi-Sumiso. Con palancas energéticas, un D Semi-Sumiso puede recurrir a la coerción energética como alternativa de menor coste, generando un Conflicto Energético Limitado: tensión contenida sin escalada militar.

Proposición 3 (Rol del tercer actor). R2 es determinante solo en 4 de las 36 combinaciones de tipos bajo información completa (4 tipos de D \times 3 de R1 \times 3 de R2 = 36). La extensión amplía este rol: cuando D sanciona a R1, R2 puede beneficiarse como proveedor alternativo sin emitir demanda formal, alterando los payoffs por influencia pasiva.

Proposición 4 (Equilibrio de Disuasión bajo información incompleta). Existe cuando la credibilidad percibida de D supera un umbral crítico. Las condiciones C1 (brecha de imposición baja) y C3 (red densa) reducen dicho umbral, haciendo la disuasión más accesible.

Proposición 5 (Equilibrio Separador). En niveles intermedios de credibilidad, los tipos se revelan por sus acciones. Si D elige coerción energética pudiendo escalar militarmente, revela información adicional sobre su tipo, enriqueciendo el equilibrio separador del modelo original.

Proposición 6 (Equilibrio de Farol). Cuando la credibilidad percibida de D es baja, un R1 Vacilante puede demandar apostando a que D es Sumiso. Una brecha de imposición alta hace fracasar el farol; una baja lo facilita.

Proposición 7 (Zona de peligro). Los desplazamientos de rentas energéticas (M4) amplifican la zona de peligro: precios altos pueden transitar a R2 de Contenido a Persistente, mientras que el encarecimiento de importaciones puede activar en R1 una lógica preventiva.

Las proposiciones generan cinco resultados de estática comparada sobre la estabilidad del Equilibrio de Disuasión.

Resultado 1 (Bipolaridad vs. tripolaridad). Cuando C1, C2 y C3 se cumplen, la tripolaridad puede ser tan estable como la bipolaridad, porque los mecanismos desestabilizadores propios de la triada están contenidos por los costes de ruptura energética y la credibilidad compuesta de D.

Resultado 2 (Brecha de imposición). Un aumento de G tiene efecto ambiguo. Por debajo de un umbral G^* ⁶, refuerza la disuasión; por encima, D tiene incentivos para emplear la coerción ofensivamente, lo que puede activar en R1 una lógica preventiva (Powell, 2006).

Resultado 3 (Volatilidad de precios). La volatilidad desestabiliza por tres canales: altera la brecha de imposición de forma impredecible, genera desplazamientos anticipados de rentas (M4) y aumenta la incertidumbre sobre los tipos, si R2 depende de rentas petroleras, los otros actores no saben si será Persistente o Contenido.

Resultado 4 (Fragmentación de red). Mayor fragmentación reduce los costes de conflicto bilateral y elimina incentivos cruzados; en el límite, converge hacia una bipolaridad de bloques sin las ventajas estabilizadoras de la bipolaridad clásica.

Resultado 5 (Sombra del futuro y tripolaridad). Una reducción de w debilita el componente reputacional y facilita la deserción. En la tripolaridad, este efecto se multiplica: cada actor anticipa que los otros dos también tendrán menores incentivos cooperativos, retroalimentando la desconfianza.

La estática comparada confirma la hipótesis central: la transición de bipolaridad a tripolaridad reduce la estabilidad cuando alguna condición falla, pero cuando C1-C3 se cumplen, la coerción energética refuerza la disuasión.

5. ESCENARIOS Y STRESS TEST ENERGÉTICOS

Este capítulo evalúa mediante simulación las predicciones del modelo formal del Capítulo 4. Se construyen seis escenarios que estresan las condiciones de paz estable (C1-C3) y se comparan los resultados para configuraciones bipolares y tripolares. El objetivo es

⁶ Véase definición en el Anexo A.2

identificar en qué condiciones la paz es más o menos probable y contrastar las predicciones teóricas P1-P4 de la sección 3.3.

5.1 Diseño y calibración de escenarios

El modelo se implementa mediante una simulación de Monte Carlo con 10.000 iteraciones por escenario. En cada iteración, el algoritmo sortea aleatoriamente los tipos de los tres jugadores según las distribuciones del Capítulo 4 y resuelve el juego por inducción hacia atrás. Para reflejar la incertidumbre propia de la información incompleta (Harsanyi, 1967), se añade un pequeño término de ruido a cada comparación de utilidad ($\sigma = 0,05$), de modo que las decisiones no son enteramente deterministas. La semilla aleatoria se fija para garantizar reproducibilidad. Con 10.000 simulaciones, el margen de error de cualquier proporción es inferior a $\pm 1\%$ con un intervalo de confianza del 95% (Rubinstein & Kroese, 2016). El código fuente completo se incluye en el Anexo A.3.

Los parámetros del modelo se calibran con datos observables. La Tabla 5 detalla cada valor, su justificación empírica y su fuente. Los pesos de la función de utilidad (α , β , γ , δ) reflejan las prioridades asimétricas de cada actor y suman 1,0 para cada jugador.

Parámetro	Valor	Justificación empírica	Fuente
<i>Parámetros del sistema</i>			
pD	0,65	Capacidad militar indiscutible: 997.000 M \$ en 2024, el 37 % del gasto mundial. Voluntad política variable: retirada de Afganistán (2021), apoyo limitado a Ucrania, ciclos electorales que condicionan la firmeza.	SIPRI (2025)
$pR1$	0,50	Equilibrio entre ambición revisionista (modernización militar, disputas en el Mar de China Meridional) y cautela histórica (ausencia de conflicto directo desde 1979). Gasto militar del 1,5 % del PIB, creciente pero subordinado al crecimiento económico.	SIPRI (2025); IEA (2024)
$pR2$	0,60	Superior a $pR1$ porque Rusia ha demostrado disposición a la acción con costes elevados: Georgia (2008), Crimea (2014), Ucrania (2022). Patrón de comportamiento revelado consistente con tipo Persistente/Oportunista.	SIPRI (2025); Milov (2024)
G	0,55	Brecha moderadamente favorable al sancionador. Los ingresos energéticos rusos cayeron un 24 % en 2023 tras las sanciones post-2022, pero la flota en la sombra (69 % del crudo ruso en septiembre de 2025) ha erosionado progresivamente la efectividad del régimen, reduciendo el daño real respecto al teórico.	IEA (2024); CREA (2026); Cardoso, Salant & Daubanes (2025)
w	0,70	Sombra del futuro moderadamente larga. Los contratos gasísticos a largo plazo (Power of Siberia: 30 años) y las infraestructuras de décadas anclan las relaciones, pero la transición energética y la	Energy Institute (2025); Zhao, Zhang & Kamran (2024)

		experiencia de ruptura europea post-2022 demuestran que pueden romperse.	
F	0,40	Fragmentación parcial. Europa cortó el 90 % de sus importaciones de gas ruso, pero Rusia redirigió flujos a Asia (China e India). La red global no está completamente bifurcada, pero tampoco es densa: coexisten bloques emergentes con vínculos residuales.	CREA (2026); Consejo de la UE (2025)
Pesos de la función de utilidad ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)			
$\alpha_D, \beta_D, \gamma_D, \delta_D$	0,40; 0,10; 0,25; 0,25	Seguridad domina (garante del statu quo). Rentas energéticas mínimas (exportador neto desde 2019). Costes macro y reputación ante aliados ponderados equilibradamente.	SIPRI (2025)
$\alpha_{R1}, \beta_{R1}, \gamma_{R1}, \delta_{R1}$	0,30; 0,15; 0,35; 0,20	Costes macroeconómicos dominan: dependencia de importaciones de petróleo del 74 % y de gas del 42 %. La seguridad de suministro es prioritaria para sostener el crecimiento.	IEA (2024); Zhao, Zhang & Kamran (2024)
$\alpha_{R2}, \beta_{R2}, \gamma_{R2}, \delta_{R2}$	0,25; 0,35; 0,15; 0,25	Rentas energéticas dominan: los hidrocarburos representan el 63 % de las exportaciones y financian directamente la capacidad militar. Correlación prácticamente unitaria entre ingresos petroleros y gasto militar (2000–2023).	Trading Economics (2026); Milov (2024)

Tabla 5. Parámetros base del modelo y calibración empírica. Todos los parámetros se encuentran normalizados en [0, 1]. Fuente: Elaboración propia. Nota: p_D = Pr(D es Firme); p_{R1} = Pr(R1 es Determinado); p_{R2} = Pr(R2 es Persistente/Oportunista); G = brecha de imposición; w = sombra del futuro; F = fragmentación de red. Los pesos $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ suman 1,0 para cada jugador.

Se definen seis escenarios que estresan los mecanismos M1-M5 (Tabla 6). Cada escenario modifica un subconjunto de parámetros respecto al caso base; tras cada modificación, los pesos se normalizan para sumar 1,0.

Escenario	ΔG	Δp_D	Δp_{R1}	Δp_{R2}	Δw	ΔF	Pesos modificados ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)
Base	—	—	—	—	—	—	Sin modificaciones
1. Shock de precio (Brent > 120 \$/b)	-0.15	—	—	+0.10	—	—	β_{R2} +0,10 (rentas rusas suben); γ_{R1} +0,10 (costes de importación chinos suben)
2. Corte de suministro (Rusia corta gas a Europa)	+0.15	—	—	+0.15	-0.15	—	CD en resultados de conflicto +0,10 (costes directos para D)
3. Bloqueo marítimo (Malaca u Ormuz)	+0.10	—	+0.15	—	—	+0.15	γ_{R1} +0,20 (amenaza existencial al suministro chino)
4. Fragmentación en bloques	—	+0.10	—	—	-0.25	+0.30	β_{R2} -0,10 (rentas rusas caen por pérdida de mercado europeo)
5. Convergencia Rusia-China	-0.20	—	+0.10	+0.10	+0.10	+0.10	γ_{R1} -0,10 (vulnerabilidad china se reduce con suministro terrestre asegurado)
6. Transición energética acelerada	—	—	—	+0.15	-0.30	+0.05	β_{R2} -0,15 (rentas rusas se erosionan); γ_{R1} -0,10 (dependencia china disminuye)

Tabla 6. Modificaciones de parámetros por escenario respecto al caso base. Los valores indican la variación aplicada (Δ); el valor final resulta de sumar la variación al parámetro base (Tabla 4) y truncar al intervalo [0, 1]. Los pesos se renormalizan para sumar 1,0 tras cada modificación. Fuente: Elaboración propia. Nota: Las celdas sombreadas en naranja indican variaciones que elevan la tensión (aumentan la credibilidad agresiva, caída de G o w , aumento de F); las sombreadas en verde indican variaciones que reducen la tensión. « p_{\cdot} » = p_D ; « p_{R1} » y « p_{R2} » = credibilidades de los retadores. — = sin variación.

La simulación implementa la inducción hacia atrás mediante umbrales de decisión que operacionalizan los umbrales c_t y c_s de Zagare y Kilgour (2000). En el Juego de Escalada Asimétrica, c_t es la credibilidad mínima del defensor para que exista el Equilibrio de Disuasión y c_s delimita la frontera con el Equilibrio de Farol. Un R1 Vacilante desiste cuando p_D supera 0,60, aproximando c_t : un retador no plenamente comprometido es disuadido ante una probabilidad moderadamente alta de enfrentarse a un defensor firme. Un R1 Cautó desiste cuando p_D supera 0,70, un umbral superior porque su decisión depende además de su expectativa sobre R2 (Zagare, 2024), lo que exige mayor certeza sobre la firmeza de D. El análisis de sensibilidad (sección 5.2) confirma que variaciones de $\pm 0,10$ en estos umbrales no alteran cualitativamente los resultados principales.

5.2 Resultados y análisis de sensibilidad

En el escenario base, el sistema tripolar produce dos resultados dominantes: el statu quo con un 44,7% de probabilidad y el conflicto energético limitado (CEL) con un 49,3%. La escalada militar es marginal: el conflicto bilateral ocurre en el 0,3% de los casos y el conflicto simultáneo en menos del 0,1%. El oportunismo de R2 alcanza el 4,6%.

Este resultado confirma que la coerción energética funciona como válvula de seguridad del sistema tripolar: canaliza casi la mitad de las interacciones hacia un conflicto de intensidad limitada, evitando la escalada militar. La incorporación de palancas energéticas como nivel intermedio genera el espacio de confrontación contenida que Bas, McLean y Whang (2017) justifican teóricamente.

Escenario	SQ	Conc. D	CEL	Bilat.	Simult.	Oport. R2
Base	44,7%	1,1%	49,2%	0,3%	0,0%	4,6%
Shock precio	33,9%	1,5%	15,1%	33,1%	7,5%	9,0%
Corte suministro	45,0%	0,8%	49,4%	0,0%	0,0%	4,8%
Bloqueo marítimo	33,2%	0,9%	61,1%	0,0%	0,0%	4,8%
Fragment. bloques	49,3%	0,5%	46,4%	0,5%	0,8%	2,5%
Convergencia R-Ch	23,3%	2,7%	5,8%	39,9%	16,0%	12,3%
Transición energ.	41,5%	0,9%	50,8%	0,7%	1,3%	4,8%

Tabla 7. Probabilidad de cada resultado por escenario (modelo tripolar, N = 10.000) Fuente: Elaboración propia a partir de simulación Monte Carlo.

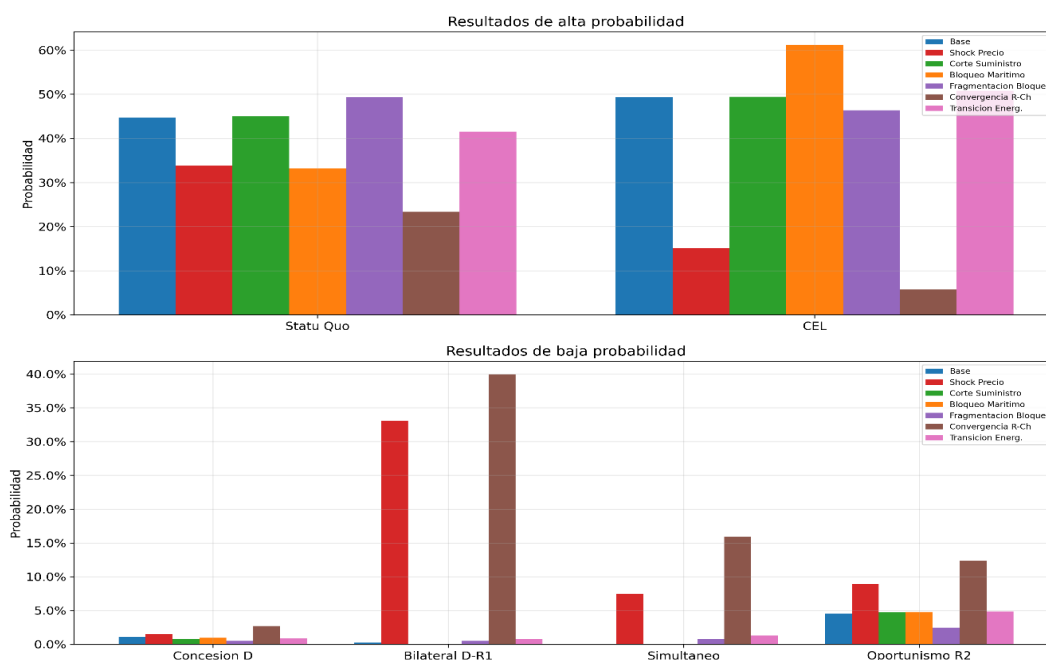


Figura 2. Distribución de resultados por escenario. Nota. Elaboración propia a partir de simulación Monte Carlo (N = 10.000); datos completos en Tabla 7.

La convergencia Rusia-China es el escenario más desestabilizador. La paz cae al 23,3% y la escalada militar se dispara: conflicto bilateral al 39,9% y simultáneo al 16,0%. El CEL se desploma del 49,3% al 5,8%, lo que indica que la coalición entre retadores no solo reduce la paz, sino que elimina el escalón intermedio de la coerción energética. El motor es la caída de G (-0,20): cuando China no coopera con las sanciones, estas pierden credibilidad y D se ve forzado a escalar al nivel militar. Este resultado confirma la Proposición P2.

El shock de precio produce el segundo mayor nivel de desestabilización. La paz cae al 33,9% y el conflicto bilateral sube al 33,1%. El mecanismo es triple: las rentas extraordinarias permiten a Rusia transitar de Contenido a Persistente (M4), la caída de G reduce la efectividad de las sanciones (M3), y el encarecimiento de importaciones presiona a China. Esto confirma la Proposición P4: las fluctuaciones de precios alteran simultáneamente las condiciones C1, C2 y C3.

El bloqueo marítimo (Escenario 3) reduce la paz al 33,2%, pero la tensión se canaliza íntegramente hacia el CEL, que alcanza su máximo (61,1%), sin escalada militar. La amenaza existencial al suministro chino aumenta su determinación, pero la elevación de G refuerza la coerción energética como instrumento de D, manteniendo el conflicto contenido.

El corte de suministro produce resultados prácticamente idénticos al caso base. La explicación es que el corte aumenta simultáneamente la credibilidad coercitiva de Rusia y la brecha de imposición, mientras que la caída de la sombra del futuro opera también en dirección desestabilizadora. Los tres efectos se compensan: la probabilidad de statu quo varía solo +0,3 pp respecto al caso base (45,0% vs. 44,7%), dentro del margen de error estadístico. En términos de Schelling (1960), la señal costosa refuerza la disuasión a corto plazo, pero erosiona la cooperación a largo plazo, generando un efecto neto cercano a cero.

La fragmentación en bloques produce la mayor probabilidad de paz (49,3%). La fragmentación eleva la credibilidad de D dentro de su bloque, reforzando la disuasión. Sin embargo, los escasos conflictos que emergen saltan directamente al nivel militar sin pasar por el CEL, consistente con la Proposición P3: la fragmentación converge hacia una bipolaridad de bloques superficialmente estable, pero sin mecanismos de escalada graduada.

La transición energética produce una reducción moderada de la paz (41,5%) con aumento leve de la escalada militar. El hallazgo clave es que China obtiene su mayor utilidad esperada en este escenario mientras que Rusia obtiene la menor, lo que redistribuye poder y genera la lógica preventiva que explica el aumento de la credibilidad agresiva rusa.

Escenario	D (EE. UU.)	R1 (China)	R2 (Rusia)
Base	0,558	0,272	0,466
Shock precio	0,445	0,121	0,477
Corte suministro	0,546	0,272	0,467
Bloqueo marítimo	0,528	0,168	0,458
Fragment. bloques	0,575	0,269	0,446
Convergencia R-Ch	0,367	0,196	0,446
Transición energ.	0,544	0,315	0,437

Tabla 8. Utilidad esperada por jugador y escenario Fuente: Elaboración propia a partir de simulación Monte Carlo.

D obtiene su utilidad máxima en fragmentación de bloques (0,575) y mínima en convergencia Rusia-China (0,367), confirmando que la coalición de retadores es la configuración más adversa para el defensor: la diferencia de 0,208 puntos entre ambos escenarios es la mayor variación de cualquier actor. R2 se mantiene notablemente estable entre escenarios (rango 0,437-0,477), lo que sugiere que Rusia, como oportunista latente, captura rentas en cualquier configuración, un resultado consistente con la predicción de Zagare (2024) sobre el beneficio pasivo del retador secundario. R1 es el actor con mayor varianza (rango 0,121-0,315): su utilidad se desploma en el shock de precio, cuando los costes de importación se disparan, y alcanza su máximo en la transición energética, cuando la dependencia de hidrocarburos disminuye. Esto confirma que el importador masivo es el actor más sensible a la configuración energética del sistema y el principal beneficiario de la descarbonización a largo plazo, aunque precisamente esa redistribución de utilidades es la que activa la lógica preventiva del exportador.

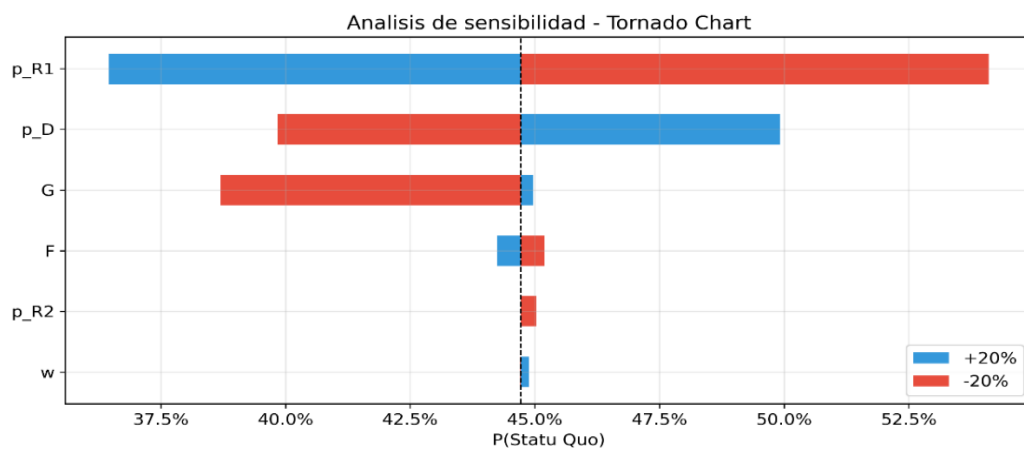


Figura 3. Tornado chart: análisis de sensibilidad. Nota. Elaboración propia; rango $\pm 20\%$ sobre parámetros base (Tabla 5).

El análisis tornado identifica los tres parámetros más influyentes sobre la paz estable. La credibilidad del retador primario (pR1) tiene el mayor impacto: una variación del $\pm 20\%$ genera un rango de probabilidad de statu quo entre el 36% y el 54%, un diferencial de 18 puntos. La credibilidad del defensor (pD) produce el segundo mayor impacto (rango 40%-50%), y la brecha de imposición (G) el tercero (rango 37%-45%).

Que pR1 domine sobre pD refuerza la teoría de Zagare y Kilgour (2000): la estabilidad de la disuasión depende más de la disposición del retador a no demandar que de la firmeza del defensor a resistir. En términos prácticos, reducir los incentivos revisionistas de China tiene mayor impacto estabilizador que aumentar el gasto militar de Estados Unidos.

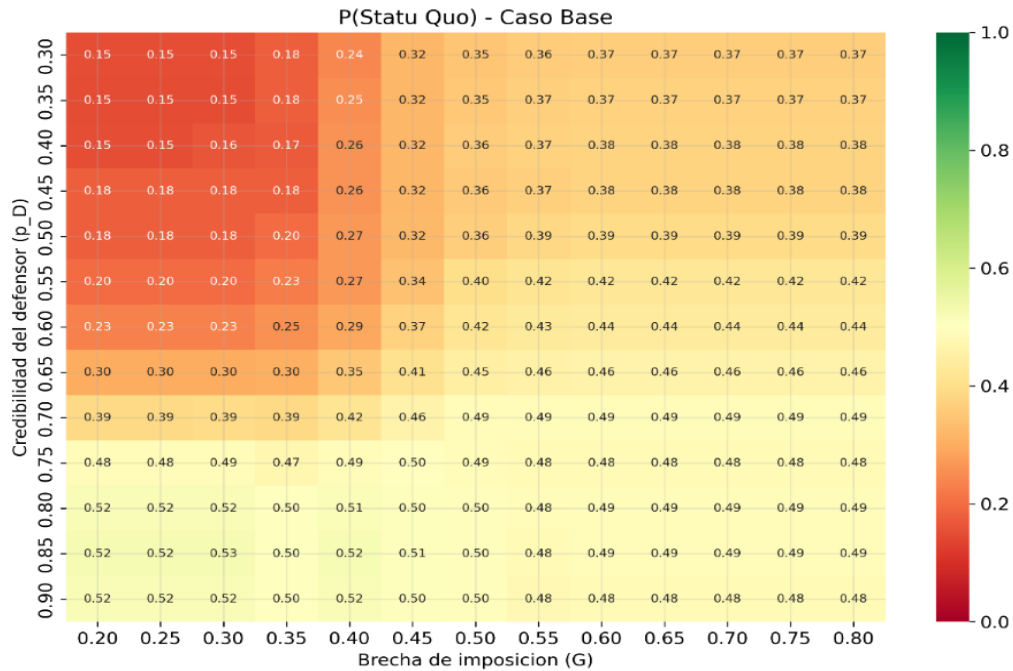


Figura 4. Heatmap de estabilidad: G vs. pD. Nota. Elaboración propia; P(Statu Quo) sobre 2.000 simulaciones por celda, parámetros base (Tabla 5).

El heatmap revela una zona de transición entre dos regiones claramente diferenciadas. Cuando la credibilidad del defensor y la brecha de imposición son bajas ($pD < 0,55$ y $G < 0,35$), la probabilidad de paz cae por debajo del 20%: el defensor carece tanto de capacidad militar creíble como de instrumentos de coerción energética eficaces, lo que invita a la demanda revisionista. Cuando ambos parámetros superan ciertos umbrales ($pD > 0,70$ y $G > 0,45$), la paz se estabiliza en torno al 46%: el defensor puede responder creíblemente en ambos niveles, militar y energético, y los retadores anticipan costes suficientes para abstenerse. La frontera entre ambas regiones operativiza la condición C2: la disuasión no depende de un solo instrumento, sino que requiere que credibilidad y efectividad de la coerción superen umbrales mínimos simultáneamente. Esto implica que

un aumento del gasto militar sin capacidad de sanción, o una brecha de imposición alta sin firmeza política, son individualmente insuficientes.

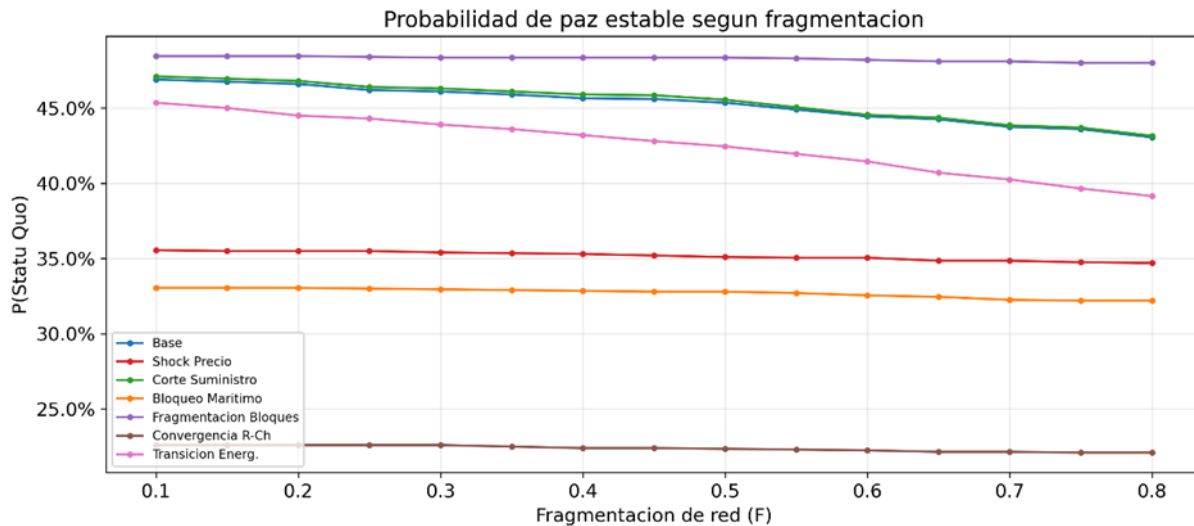


Figura 5. Probabilidad de paz según fragmentación. Nota. Elaboración propia; 2.000 simulaciones por punto.

El efecto de la fragmentación es acumulativo: a medida que F aumenta, la paz cae de forma sostenida en la mayoría de los escenarios. La razón teórica es que la fragmentación erosiona los conflictos transversales que Deutsch y Singer (1964) identificaban como estabilizadores: cuando las líneas de tensión energética se superponen con las geopolíticas en lugar de cortarlas, desaparece el freno que la diversificación de rivales proporciona. Dos excepciones confirman la lógica. La convergencia Rusia-China es insensible a F porque su desestabilización opera por otros canales (caída de G): la coalición entre retadores es destructiva independientemente de la estructura de la red. La fragmentación en bloques muestra una pendiente ligeramente positiva, consistente con el refuerzo de la disuasión intra-bloque: dentro de cada bloque la credibilidad del defensor aumenta, aunque al coste de eliminar los mecanismos de escalada graduada entre bloques.

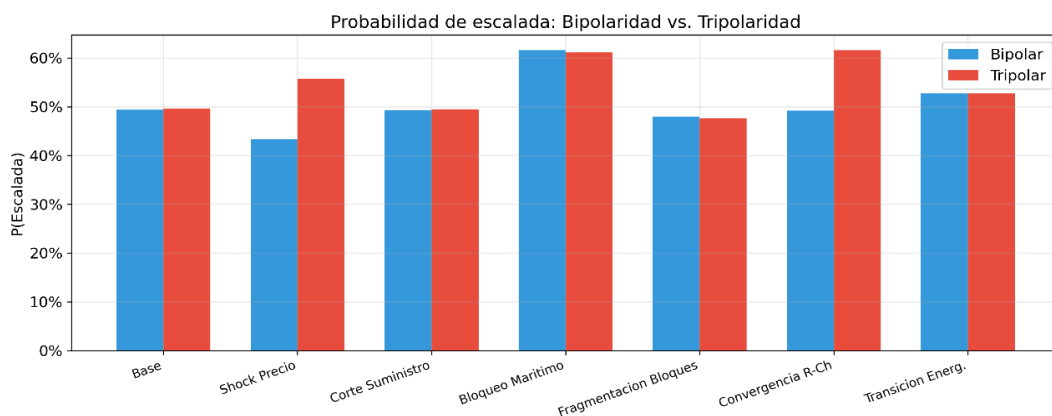


Figura 6. Probabilidad de escalada: bipolaridad vs. tripolaridad. Nota. Elaboración propia; N = 10.000 por configuración y escenario.

En el caso base, la diferencia de escalada entre bipolaridad (49,4%) y tripolaridad (49,6%) es de 0,2 puntos porcentuales, estadísticamente no significativa. Esto confirma la Proposición P1: cuando las condiciones C1, C2 y C3 se cumplen, la tripolaridad puede ser tan estable como la bipolaridad.

Sin embargo, dos escenarios generan divergencias sustanciales. En el shock de precio, la tripolaridad produce un 55,7% de escalada frente al 43,3% bipolar (+12,4 pp). En la convergencia Rusia-China, la tripolaridad alcanza el 61,7% frente al 49,2% bipolar (+12,5 pp). En ambos casos, la diferencia se explica por los resultados exclusivos de la tripolaridad: conflicto simultáneo y oportunismo de R2, que no existen en bipolaridad.

La conclusión central es que la tripolaridad no es generalizadamente más inestable que la bipolaridad, sino condicionalmente más inestable. El tercer actor amplifica la desestabilización en escenarios donde la brecha de imposición es baja o las credibilidades de los retadores son altas, exactamente la predicción de Zagare (2024) sobre la zona intermedia donde el tercer actor es determinante. En condiciones normales, la tripolaridad con palancas energéticas produce resultados similares a la bipolaridad, pero con una distribución con mayor dispersión en los escenarios adversos.

6. DISCUSIÓN

Los resultados del Capítulo 5 permiten evaluar las predicciones teóricas del modelo formal y responder a la pregunta central del trabajo: en qué condiciones la paz es más estable en un sistema tripolar cuando el petróleo y el gas operan como palancas estratégicas.

6.1 Energía, polaridad y estabilidad: interpretación de los resultados

La contribución más original del modelo es la identificación del conflicto energético limitado (CEL) como válvula de seguridad del sistema tripolar. Como muestra la Tabla 7, el CEL absorbe aproximadamente la mitad de las interacciones en el escenario base. La incorporación de un nivel intermedio entre concesión y fuerza, justificada por Bas, McLean y Whang (2017), genera un espacio de confrontación contenida que canaliza las tensiones sin cruzar el umbral bélico. La graduación de los niveles de escalada, consistente con la lectura de Zagare y Kilgour (2000) sobre los umbrales percibidos por los actores, reduce la probabilidad de saltos directos entre diplomacia y guerra. Esta función estabilizadora del CEL no tiene equivalente en los modelos puramente militares de Waltz (1979), Mearsheimer (2001) o el propio Zagare (2024), y constituye la principal extensión que el modelo aporta a la literatura.

La comparación bipolar-tripolar (Figura 6) produce un resultado que matiza simultáneamente las tres tradiciones del debate sobre polaridad. En condiciones base, la diferencia de escalada entre configuraciones es estadísticamente no significativa, lo que confirma P1. Este resultado contradice directamente el argumento de Waltz (1979) de que tres es el número "más desafortunado" de potencias: las coaliciones dos contra uno que consideraba inherentes a los sistemas tripolares quedan contenidas cuando la coerción energética genera costes de ruptura suficientes. La razón teórica es que la energía añade una dimensión de equilibrio interno, el autoabastecimiento y la capacidad de sanción, que Waltz reservaba exclusivamente a la bipolaridad. En su marco, solo dos potencias pueden corregir desequilibrios sin depender de alianzas externas; el modelo muestra que las palancas energéticas permiten parcialmente esta corrección interna incluso en triadas.

Sin embargo, tres configuraciones anulan tanto la función estabilizadora del CEL como la equivalencia bipolar-tripolar, y en ambos casos el mecanismo teórico subyacente es el mismo: la erosión de alguna condición C1-C3.

Primera, la coalición energética entre retadores⁷. En el marco de Schelling (1960), la coalición elimina la capacidad del sancionador de comprometerse creíblemente: la existencia de un comprador alternativo convierte el coste de ejecución de las sanciones en evitable, y la amenaza pierde su función de compromiso, la inversa exacta de la paradoja del compromiso. El defensor queda ante un dilema binario, escalar al nivel

⁷ Escenario 5; véanse Tablas 6 y 7.

militar o capitular, sin el espacio de confrontación graduada que el CEL proporciona en condiciones normales. Es en este escenario donde la tripolaridad se separa más de la bipolaridad (Figura 6), porque el tercer actor no solo desestabiliza por su demanda latente, como predice Zagare (2024), sino que erosiona activamente la brecha de imposición del defensor. Lo que el modelo energético añade a Zagare es precisamente el mecanismo por el cual la zona intermedia de credibilidad se amplía: la coalición energética desplaza al defensor hacia la franja donde el retador secundario se vuelve determinante. En los términos de Mearsheimer (2001), la coerción energética funciona como antídoto parcial contra el buck-passing, porque ofrece un instrumento de respuesta sin movilización militar; pero cuando la coalición de retadores neutraliza ese instrumento, el buck-passing reaparece con toda su fuerza desestabilizadora.

Segunda, el shock de precios⁸. Las rentas extraordinarias permiten a Rusia transitar de Contenido a Persistente, activando M4. Powell (2006) identifica este fenómeno como causa central de la guerra: los desplazamientos grandes y rápidos en la distribución de poder hacen que los compromisos presentes pierdan sostenibilidad. El shock altera simultáneamente las tres condiciones: reduce G (C1 falla), eleva la credibilidad agresiva rusa (C2 se fragiliza) y fragmenta las estrategias de respuesta coordinada (C3 se debilita). Esto confirma P4: las fluctuaciones de precios generan ciclos que producen los errores de cálculo derivados de la información privada con incentivos a tergiversar (Fearon, 1995).

Tercera, la transición energética acelerada⁹. El hallazgo clave no es la caída de la paz, sino la redistribución asimétrica de utilidades entre actores. La transición mejora la posición del importador y deteriora la del exportador, generando un desplazamiento anticipado de poder que activa la lógica preventiva de Powell (2006). Esto produce una segunda paradoja que ni Waltz ni Deutsch y Singer contemplan: la descarbonización, estructuralmente pacificadora a largo plazo porque elimina la palanca energética, es potencialmente desestabilizadora durante la transición porque genera exactamente el tipo de desplazamiento rápido de poder que Powell identifica como causa central de la guerra.

Este hallazgo resuelve parcialmente el debate de la sección 2.1. Waltz (1979) tenía razón en que la tripolaridad introduce dinámicas desestabilizadoras ausentes en la bipolaridad, pero su predicción de inestabilidad inherente resulta excesiva: la desestabilización es

⁸ Escenario 1; Tablas 6 y 7

⁹ Escenario 6; Tablas 7 y 8

condicional, no estructural. Deutsch y Singer (1964) acertaban al sugerir que la redistribución de atención puede actuar como freno, pero su mecanismo requiere más de tres actores para funcionar plenamente. Mearsheimer (2001) captura correctamente el riesgo del buck-passing, pero el modelo muestra que las palancas energéticas pueden compensar parcialmente ese riesgo al añadir un nivel de coerción que no existe en su formulación puramente militar. La contribución específica es que la tripolaridad no es generalizadamente más inestable, sino que produce una distribución de resultados con una distribución asimétrica hacia la escalada en condiciones adversas: en condiciones normales ambas configuraciones son funcionalmente equivalentes; en escenarios adversos, el tercer actor actúa como amplificador de las perturbaciones.

El análisis de sensibilidad (Figura 3) refuerza esta lectura. El parámetro más influyente sobre la paz estable es la credibilidad del retador primario, no la del defensor, consistente con la tesis central de Zagare y Kilgour (2000). La implicación invierte la conclusión del realismo ofensivo: la prioridad estabilizadora no es maximizar la capacidad militar del defensor, como Mearsheimer (2001) sugeriría, sino reducir los incentivos revisionistas del retador primario mediante integración energética que eleve sus costes de conflicto (M1). En la triada actual, esto se traduce en una paradoja operativa: la estrategia más eficaz para Estados Unidos no es reforzar su capacidad de sanción, sino profundizar la interdependencia energética con China, el actor cuya disposición a demandar determina más decisivamente la estabilidad del sistema.

En síntesis, la energía estabiliza cuando opera a través de M1 y cuando la brecha de imposición se mantiene en niveles que hacen creíble la coerción sin incentivar su uso ofensivo. Desestabiliza cuando M2, M4 y M5 dominan. La relación entre energía, polaridad y estabilidad depende críticamente de la configuración simultánea de C1-C3.

6.2 Implicaciones para el diseño de sanciones y la cooperación

Los resultados generan tres implicaciones.

El escenario de convergencia Rusia-China demuestra que las sanciones pierden su función estabilizadora cuando el objetivo cuenta con un socio que las neutraliza. La caída de G en 0,20 puntos transforma el sistema: el CEL desaparece como resultado viable y la escalada militar se multiplica. La caída de la brecha de imposición contrae el rango de negociación de Fearon (1995) al reducir los costes del conflicto para el sancionado,

eliminando acuerdos que antes eran preferibles a la confrontación. La eficacia de las sanciones energéticas en un sistema tripolar depende críticamente de impedir la coalición entre retadores, un resultado que conecta con la predicción de Riker (1962): en sistemas de tres actores, la coalición ganadora es inherentemente un alineamiento de dos contra uno, y la tarea del defensor consiste en evitar que esa coalición se forme.

La segunda implicación se refiere a la no linealidad de la brecha de imposición. El Resultado 2 del modelo formal establece que un aumento de G tiene efecto ambiguo: por debajo de un umbral G^* , refuerza la disuasión; por encima, incentiva el uso ofensivo de la coerción. El heatmap (Figura 4) revela una frontera clara: por debajo de ciertos umbrales conjuntos de credibilidad y brecha de imposición, la probabilidad de paz cae drásticamente; por encima, se estabiliza. La frontera entre ambas zonas operativiza la condición C2: la disuasión es robusta solo cuando credibilidad y efectividad de la coerción superan umbrales mínimos simultáneamente. La implicación es que las sanciones deben calibrarse para maximizar la brecha sin cruzar el umbral a partir del cual el sancionador tiene incentivos para emplearlas ofensivamente. En la lógica de Schelling (1960), las sanciones más eficaces no son las más severas, sino las que dejan algo al azar.

La tercera implicación se refiere a la preservación de la sombra del futuro como política estabilizadora. Reducciones del parámetro w debilitan el componente reputacional y facilitan la desertión; en la tripolaridad este efecto se multiplica porque cada actor anticipa que los otros dos también tendrán menores incentivos cooperativos. Axelrod (1984) propone alargar la sombra del futuro como vía principal para promover la cooperación; en el contexto energético, los instrumentos concretos incluyen contratos de largo plazo, infraestructuras compartidas cuya amortización se mide en décadas, y compromisos de inversión conjunta. Sin embargo, la transición energética acelerada (Escenario 6) revela una tensión estructural: las políticas de descarbonización acortan la sombra del futuro de las relaciones basadas en hidrocarburos, fragilizando la cooperación energética precisamente en el periodo de transición donde las vulnerabilidades son máximas.

Las tres implicaciones convergen en una recomendación general: la estabilidad del sistema tripolar con palancas energéticas no se gestiona maximizando la capacidad coercitiva del defensor, sino manteniendo simultáneamente las tres condiciones C1-C3. Esto requiere una estrategia que combine la preservación de coaliciones sancionadoras amplias, para sostener G en niveles disuasorios sin que sea explotable ofensivamente, la

integración energética con el retador primario, para elevar sus costes de conflicto vía M1, y el alargamiento de la sombra del futuro mediante compromisos institucionales que sobrevivan a los ciclos de precios.

6.3 Limitaciones del modelo

El modelo presenta cinco limitaciones.

Primera, la tratabilidad a costa del realismo. El juego modela una interacción única con sombra del futuro incorporada en los payoffs (supuesto S5), en lugar de un juego repetido con información incompleta. Esta simplificación permite la resolución mediante Equilibrios Bayesianos Perfectos, pero sacrifica la dinámica de aprendizaje entre rondas que Axelrod (1984) identifica como central para la emergencia de la cooperación. El modelo no puede capturar cómo las acciones en una crisis energética alteran las creencias sobre los tipos en crisis posteriores.

Segunda, la asignación de roles fijos. El modelo asigna a cada actor un rol estructural (D, R1, R2). En la realidad, los roles pueden invertirse según el contexto o el enfoque. Esta rigidez limita la capacidad del modelo para capturar las asimetrías de rol entre dimensiones, que constituyen una fuente adicional de información privada en el sentido de Fearon (1995).

Tercera, la calibración de parámetros. Los pesos de la función de utilidad y las credibilidades iniciales se calibran con datos observables, pero cualquier calibración implica juicios sobre la importancia relativa de cada componente. El análisis de sensibilidad mitiga este problema al explorar cómo varían los resultados ante perturbaciones, pero no lo elimina. La credibilidad de cada actor es inobservable y solo puede aproximarse mediante indicadores indirectos, necesariamente imprecisos.

Cuarta, la exclusión de actores relevantes. El sistema energético global incluye actores con capacidad de alterar los equilibrios: Arabia Saudí como swing producer, la Unión Europea como importador con poder regulatorio, India como consumidor creciente, y los países de tránsito. La exclusión se justifica por la definición operativa de tripolaridad (sección 1.2), pero la interacción con estos actores secundarios modifica los payoffs.

Quinta, la ausencia de política doméstica. El modelo trata a cada Estado como actor unitario (supuesto S1), siguiendo la convención del realismo estructural. Sin embargo, las

decisiones energéticas están condicionadas por dinámicas internas: la sensibilidad electoral a los precios del combustible, la dependencia fiscal de las rentas energéticas en petro-Estados, y la competencia burocrática entre agencias. La inclusión de estas dinámicas requeriría una formulación de juego a dos niveles, lo que excede el alcance de este trabajo, pero constituye una extensión natural.

Pese a estas limitaciones, el modelo cumple su objetivo principal: proporcionar un marco formal que permite sacar predicciones comparativas sobre la estabilidad de la paz en sistemas tripolares con palancas energéticas. Las limitaciones no invalidan las conclusiones principales, sino que acotan su dominio de aplicación y señalan las direcciones más productivas para investigación futura. Una extensión natural sería implementar el juego como repetido con aprendizaje bayesiano, utilizando el marco de belief updating de Harsanyi (1967) que ya se emplea para la información incompleta estática.

7. CONCLUSIONES

Este trabajo ha investigado en qué condiciones la paz es más estable en un sistema tripolar, frente a uno bipolar, cuando el petróleo y el gas operan como palancas de coerción estratégica. Para ello se ha construido un modelo formal que extiende el Double Deterrence Game de Zagare (2024) incorporando la coerción energética como nivel intermedio entre la diplomacia y la fuerza militar, y se ha evaluado mediante simulación de Monte Carlo con seis escenarios de estrés calibrados empíricamente.

El hallazgo principal es que la transición de bipolaridad a tripolaridad no genera inestabilidad de forma estructural, sino condicional. Cuando las tres condiciones de paz estable se cumplen simultáneamente (C1, brecha de imposición baja; C2, credibilidad disuasoria alta; C3, red energética densa y no fragmentada), la tripolaridad produce resultados de estabilidad estadísticamente equivalentes a la bipolaridad (Figura 6). Este resultado confirma la Predicción P1 y matiza la tesis waltziana de inestabilidad inherente de los sistemas tripolares.

Sin embargo, cuando alguna condición falla, la tripolaridad genera picos de escalada que la bipolaridad no puede producir. La convergencia energética Rusia-China y el shock de precio son los escenarios que más separan ambas configuraciones (Figura 6). La

diferencia se explica por resultados exclusivos de la tripolaridad, el conflicto simultáneo y el oportunismo del retador secundario, que confirman P2 y el hallazgo de Zagare (2024): el tercer actor desestabiliza precisamente cuando la credibilidad del defensor se sitúa en niveles intermedios.

Respecto a la primera subpregunta (comparación estructural), el modelo demuestra que la tripolaridad produce una distribución de resultados con una cola de riesgo más gruesa que la bipolaridad. En condiciones normales, ambas configuraciones son equivalentes; en escenarios adversos, el tercer actor actúa como amplificador de las perturbaciones, transformando tensiones bilaterales en crisis sistémicas potenciales.

Respecto a la segunda subpregunta (mecanismo energético), la coerción energética funciona como válvula de seguridad del sistema tripolar: el conflicto energético limitado absorbe aproximadamente la mitad de las interacciones en el escenario base (Tabla 7), canalizando tensiones sin cruzar el umbral militar. Esta función estabilizadora depende de la brecha de imposición: cuando esta cae drásticamente, como en el escenario de convergencia Rusia-China, el escalón intermedio desaparece y la escalada militar se multiplica. El análisis de sensibilidad (Figura 3) confirma que la credibilidad del retador primario es el parámetro más influyente, consistente con Zagare y Kilgour (2000): reducir los incentivos revisionistas del retador tiene mayor impacto estabilizador que aumentar la capacidad coercitiva del defensor.

Respecto a la tercera subpregunta (evaluación ilustrativa), los escenarios simulados replican dinámicas observables en el periodo 2014-2025: la correlación entre precios altos y agresividad rusa, la erosión de sanciones por la flota en la sombra, la diversificación china de corredores terrestres, y la paradoja de la transición energética como generadora de lógica preventiva.

La contribución del trabajo es triple. Teóricamente, propone un marco formal que integra la coerción energética en la teoría de la disuasión en triadas, mostrando que la energía no es un simple recurso disputado sino un modulador estructural de payoffs, creencias y compromisos. Analíticamente, identifica cinco mecanismos causales (M1-M5) y tres condiciones necesarias (C1-C3) que permiten derivar predicciones sobre cuándo la interdependencia estabiliza y cuándo desestabiliza. Ilustrativamente, calibra el modelo con datos empíricos de gasto militar (SIPRI), dependencia energética (IEA) e impacto de sanciones (CREA), y evalúa su robustez mediante simulación.

El trabajo presenta limitaciones reconocidas en la sección 6.3: la modelización como juego de una ronda sacrifica la dinámica de aprendizaje, la asignación de roles fijos no captura las inversiones de rol entre dimensiones, y la calibración implica juicios sobre la importancia de cada componente. Las extensiones incluyen la implementación del juego con aprendizaje bayesiano, la incorporación de actores secundarios relevantes y la formulación de un juego a dos niveles que integre la política doméstica.

La respuesta que emerge del modelo no se alinea plenamente con ninguna de las tres tradiciones. Contra Waltz (1979), la estabilidad no es inherente a la estructura del sistema: la bipolaridad no es intrínsecamente más estable que la tripolaridad cuando las condiciones energéticas son favorables. Contra Deutsch y Singer (1964), la estabilidad no es proporcional al número de actores ni depende de la multiplicación de díadas: tres actores son demasiado pocos para activar los mecanismos de dispersión de atención que la multipolaridad requiere. Contra Mearsheimer (2001), el buck-passing no es inevitable en la tripolaridad: la coerción energética ofrece al defensor un instrumento de respuesta graduada que reduce el incentivo de los retadores a trasladar la carga del equilibrio. La estabilidad es, en cambio, condicional a la configuración energética del sistema, capturada por las condiciones C1-C3: cuando la brecha de imposición es disuasoria sin ser explotable, la credibilidad del defensor es robusta y la red energética es densa, la tripolaridad puede sostenerse de forma tan estable como la bipolaridad. Cuando estas condiciones fallan, el tercer actor amplifica las perturbaciones y la energía deja de ser válvula de seguridad para convertirse en acelerador de la escalada.

BIBLIOGRAFÍA

- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, Inc., Publishers .
- Bas, M., McLean, E., & Whang, T. (2017). Uncertainty in International Crises. *The Korean Journal of International Studies*, 15(2), 165-189.

- Caplow, T. (1956). A Theory of Coalitions in the Triad. *American Sociological Association*, 21(4), 489-493.
- Cardoso, D. S., Salant, S. W., & Daubanes, J. (2025). The Dynamics of Evasion: The Price Cap on Russian Oil Exports and the Amassing of the Shadow Fleet. *CESifo*, 1-35.
- Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four As. *Energy Policy*, 45, 415-421.
- Consejo de la UE. (2025, Diciembre 18). *Sanciones de la UE contra Rusia: preguntas y respuestas*. Retrieved from consilium: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/sanctions-against-russia-explained/#:~:text=En%20junio%20de%202022%2C%20el,de%20Rusia%20a%20la%20UE.>
- Costa Silva, A. (2017). Geopolitics of energy and energy security. *IDN Cadernos*(24), 49-61.
- CREA. (2026, Febrero 18). *January 2026 — Monthly analysis of Russian fossil fuel exports and sanctions*. Retrieved from CREA: <https://energyandcleanair.org/january-2026-monthly-analysis-of-russian-fossil-fuel-exports-and-sanctions/>
- Deutsch, K. W., & Singer, J. D. (1964). Multipolar Power Systems and International Stability. *World Politics*, 16(3), 390-406. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2009578>
- Dorussen, H., & Ward, H. (2010). Trade networks and the Kantian peace. *Journal of Peace Research*, 47(1), 29-42.
- Energy Institute. (2025). *The EI Statistical Review of World Energy 2025*. London: Energy Institute.
- Fearon, J. D. (1995). Rationalist Explanations for War. *International Organization*, 49(3), 379-414.
- Gamson, W. A. (1961). A Theory of Coalition Formation. *American Sociological Review*, 26(3), 373-382.
- Harsanyi, J. C. (1967). Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players, I-III. Part I. The Basic Model. *INFORMS*, 159-182.
- IEA. (2024). *World Energy Investment 2024*. Retrieved from IEA: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024/china>
- Keohane, R. O., & Nye, J. S. (2012). *Power and Interdependence*. Glenview: Longman.
- Martin, P., Mayer, T., & Thoenig, M. (2008). Make Trade Not War? *The Review of Economic Studies*, 75, 865-900.
- Mearsheimer, J. J. (2001). *The Tragedy of Great Power Politics*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Milov, V. (2024). OIL, GAS, AND WAR: The Effect of Sanctions on the Russian Energy Industry. *Atlantic Council: Eurasia Center*, 1-23.
- Newnham, R. (2011). Oil, Carrots, and Sticks: Russia's Energy Resources as a Foreign Policy Tool. *SAGE journals*, 2(2), 134-143.
- Pinchetti, M. (2024). Geopolitical risk and inflation: The role of energy markets. *Centre for Macroeconomics, London School of Economics*.(2024-31).

- Powell, R. (1996). Bargaining in the Shadow of Power. *GAMES AND ECONOMIC BEHAVIOR*, 15, 255-289.
- Powell, R. (1999). *In the Shadow of Power: States and Strategies in International Politics*. Princeton: Princeton University Press.
- Powell, R. (2006). War as a Commitment Problem. *International Organization*, 60(1), 169-203.
- Riker, W. H. (1962). *The Theory of Political Coalitions*. New Haven: Yale University Press.
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo Method*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Schelling, T. C. (1960). *The strategy of conflict*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schweller, R. L. (1998). *Tripolarity and Hitler's Strategy of World Conquest*. New York: Columbia University Press.
- SIPRI. (2025). *SIPRI Military Expenditure Database*. Retrieved from STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE: <https://milex.sipri.org/sipri>
- Smith Stegen, K. (2011). Deconstructing the “energy weapon”: Russia's threat to Europe as case study. *Energy Policy*, 6505-6513.
- The National Institute for Defense Studies. (2022). *The New Normal of Great Power Competition: The U.S.-China-Russia Relationship and the Indo-Pacific Region*. Tokyo: The National Institute for Defense Studies.
- Trading Economics. (2026, Enero). *Trading Economics*. Retrieved from Exportaciones de Rusia: <https://es.tradingeconomics.com/russia/exports>
- U.S. Energy Information Administration. (2013). *EIA/ARI World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment*. Arlington: Advanced Resources International, Inc.
- Waltz, K. N. (1979). *Theory of International Politics*. Menlo Park, California: Addison-Wesley Publishing Company.
- Whang, T., Mclean, E. V., & Kuberski, D. W. (2013). Coercion, Information, and the Success of Sanction Threats. *American Journal of Political Science*, 57(1), 65-81.
- Zagare, F. C. (2024). Two Against One: Deterrence in the Triad. *Peace Economics, Peace Science, and Public Policy*, 30(1), 1-25. doi:10.1515/peps-2023-0050
- Zagare, F. C., & Kilgour, M. D. (2000). *Perfect Deterrence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zhao, S., Zhang, X., & Kamran, M. (2024). China's energy strategy: A comprehensive analysis of economic, social, planning, and environmental impacts. *Energy Strategy Reviews*, 56, 1-11.

ANEXO

A.1 Extensión del Double Deterrence Game

La Tabla A1 reproduce los equilibrios del Double Deterrence Game original (Zagare, 2024) para una selección de las 36 combinaciones de tipos. La coerción energética modifica los resultados en tres tipos de combinaciones.

	D Firme / R1 Vacilante	D Firme / R1 Determinado	D Firme / R1 Cautó	D Sumiso / R1 Vacilante	D Sumiso / R1 Determinado	D Sumiso / R1 Cautó
R2 Persist./Oport.	SQ	SQ	SQ	SQ	R1 y R2 Ganan	R1 y R2 Ganan
R2 Cont./Oport.	SQ	SQ	SQ	SQ	R1 Gana	R1 Gana
R2 Cont./Renuevante	SQ	SQ	SQ	SQ	R1 Gana	SQ

Tabla 9. Equilibrios de perfección en subjuegos del Double Deterrence Game (Zagare, 2024). Nota: SQ = Statu Quo. La tabla muestra una selección de las 36 combinaciones; las columnas de D Semi-Firme y D Semi-Sumiso siguen el mismo patrón (vease Zagare, 2024 para la tabla completa). Los 4 juegos donde R2 es determinante están sombreados.

La incorporación de la coerción energética como nivel intermedio modifica los resultados en tres tipos de combinaciones:

(a) D Sumiso con palancas energéticas. En el modelo original, un D Sumiso siempre cede ante una demanda de R1. Con la extensión, un D Sumiso que dispone de una brecha de imposición favorable ($G > 0$) puede optar por sanciones en lugar de ceder, generando Conflicto Energético Limitado. Esto ocurre cuando la coerción energética domina a la concesión en la ordenación de preferencias de D. El efecto es que algunos juegos donde la disuasión fracasaba producen ahora un resultado intermedio: tensión contenida sin escalada militar.

(b) R2 como beneficiario pasivo. Cuando D sanciona a R1, R2 puede beneficiarse como proveedor alternativo sin emitir demanda formal, aumentando sus rentas energéticas. Esto puede transitar a R2 de Contenido a Persistente, elevando el número de juegos donde R2 es determinante de 4 a hasta 8, dependiendo de la magnitud de las rentas adicionales.

(c) Disuasión de R1 Determinado vía sanciones. En el modelo original, un D Firme disuade a R1 Determinado únicamente mediante la amenaza militar. Con palancas energéticas, la sola amenaza de sanciones puede bastar cuando G es suficientemente grande, ampliando el conjunto de juegos donde el statu quo se sostiene.

En el modelo simplificado bajo información incompleta (Zagare, 2024), los EBP se definen por la posición de pD respecto a ct y cs , y de $pR1$ respecto a dn . La extensión energética modifica estos umbrales:

La extensión energética modifica los umbrales del modelo bajo información incompleta. Tanto c_t (umbral para el Equilibrio de Disuasión) como c_s (frontera del Equilibrio de Farol) son decrecientes en G : un aumento de la brecha de imposición amplía la región de Disuasión Cierta y contrae la del Farol. La densidad de red (v) opera en la misma dirección al elevar los costes de conflicto para todos los actores (M1).

A.2 Formalización de las condiciones C1-C3

Condición C1: Brecha de imposición baja

Sea $G_{ij} = \text{Daño}(j) - \text{Coste}(i)$ la brecha de imposición cuando i sanciona a j . C1 requiere tres restricciones simultáneas:

(i) $G_D, R_1 < G^*$, donde G^* es el valor de G tal que $UD(\text{sancionar}) = UD(\text{statu quo})$. Cuando $G < G^*$, la coerción es disuasoria pero no ofensiva. Cuando $G > G^*$, D prefiere

sancionar, aunque R1 no haya emitido demanda, activando la lógica preventiva de Powell (2006): R1, anticipando la coerción, puede preferir escalar antes de que D consolide su ventaja.

(ii) GR1, D bajo: R1 no puede sancionar a D con impunidad. Se cumple cuando D tiene baja vulnerabilidad energética (autoabastecimiento post-shale).

(iii) GR2, D bajo: R2 tampoco puede sancionar a D con impunidad. Se cumple cuando la dependencia R2-D es simétrica o D dispone de proveedores alternativos.

Cuando C1 se cumple, la coerción energética es mutuamente costosa: cada actor sabe que puede sancionar al otro, pero el coste de hacerlo es comparable al daño infligido. Esto produce disuasión por costes compartidos (Zagare y Kilgour, 2000).

Condición C2: Credibilidad disuasoria alta

C2 requiere $pD > ct$. En el modelo extendido, pD es una credibilidad compuesta con tres dimensiones:

(a) Capacidad militar: probabilidad de resistir y prevalecer en conflicto armado. Depende del gasto militar, la tecnología y la capacidad nuclear de segundo golpe.

(b) Capacidad de coerción energética: probabilidad de sostener sanciones sin costes domésticos insostenibles. Depende de G y de la disponibilidad de aliados que respalden el régimen sancionador.

(c) Resiliencia doméstica: capacidad de absorber los costes económicos de la confrontación sin que la presión política interna fuerce la capitulación.

$pD = f(\text{capacidad militar}, G, \text{resiliencia doméstica})$, donde f es creciente en los tres argumentos. Un D con alta capacidad en las tres dimensiones tendrá pD alta. Un D con alta capacidad militar pero baja resiliencia energética tendrá pD inferior, porque los retadores anticipan que la presión doméstica forzaría la capitulación.

La disuasión en la triada es robusta cuando pD está claramente por encima de ct y frágil cuando pD se sitúa entre cs y ct , porque en esta franja R2 puede alterar el resultado (Zagare, 2024). C2 requiere que pD se sitúe en la zona de Disuasión Cierta.

Condición C3: Red energética densa y no fragmentada

Sea v la densidad (proporción de conexiones energéticas efectivas sobre el total posible) y ϕ la fragmentación (grado de división en componentes desconectados). C3 requiere:

(i) $v > v^*$. Una red densa amplifica M1 porque cada relación bilateral afecta a múltiples actores conectados, elevando el coste total del conflicto. Además, mejora la observabilidad de las acciones, reforzando la sombra del futuro (Axelrod, 1984) al facilitar la retaliación calibrada.

(ii) $\phi < \phi^*$. Una red fragmentada en bloques anula los conflictos transversales de Deutsch y Singer (1964) porque las líneas de tensión energética se superponen con las geopolíticas. En el límite, converge hacia una bipolaridad de bloques que carece de las ventajas de la bipolaridad clásica: los bloques son coaliciones, no Estados unitarios, y no pueden corregir desequilibrios internamente.

C3 requiere que la diversificación sea suficiente para actuar como seguro contra la coerción sin eliminar la dependencia bilateral hasta el punto donde el efecto multilateral desestabilizador de Martin et al. (2008) supere al efecto bilateral pacificador.

A.3 Código fuente de la simulación

Se reproduce a continuación el núcleo lógico de la simulación: la función de utilidad, la asignación de tipos, la resolución del juego por inducción hacia atrás y el motor Monte Carlo. El código completo, incluyendo la definición de parámetros (Tabla 5), los escenarios de estrés (Tabla 6) y las funciones de visualización, está disponible bajo solicitud.

```
"""
Capítulo 5 - Escenarios y Stress Test Energeticos
Simulacion Monte Carlo para un juego tripolar (EE.UU., China, Rusia)
"""
```

```

con palancas de coerción energética.

TFG: Estabilidad de la paz en sistemas tripolares.
"""

# =====
# SECCION 1: IMPORTS Y CONFIGURACION
# =====

import sys
import os
import time
sys.stdout.reconfigure(encoding='utf-8')
os.environ["PYTHONUTF8"] = "1"

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as mticker
import seaborn as sns
from copy import deepcopy
from math import pi

N_SIM = 10_000
N_SIM_HEAT = 2_000
SEED = 42
SIGMA_NOISE = 0.05
DPI = 300

OUTPUT_DIR = os.path.join(os.path.dirname(os.path.abspath(__file__)),
"output")
os.makedirs(OUTPUT_DIR, exist_ok=True)

plt.rcParams.update({
    "figure.facecolor": "white",
    "axes.facecolor": "white",
    "axes.grid": True,
    "grid.alpha": 0.3,
    "font.size": 12,
    "axes.titlesize": 14,
    "axes.labelsizsize": 12,
})

OUTCOMES = [
    "Statu Quo", "Concesion D", "CEL",
    "Bilateral D-R1", "Simultaneo", "Oportunismo R2",
]
OUTCOMES_BIPOLAR = OUTCOMES[:4]

ESCENARIOS = [

```

```

"Base", "Shock Precio", "Corte Suministro", "Bloqueo Maritimo",
"Fragmentacion Bloques", "Convergencia R-Ch", "Transicion Energ.",
]

COLORES = {
    "Base": "#1f77b4",
    "Shock Precio": "#d62728",
    "Corte Suministro": "#2ca02c",
    "Bloqueo Maritimo": "#ff7f0e",
    "Fragmentacion Bloques": "#9467bd",
    "Convergencia R-Ch": "#8c564b",
    "Transicion Energ.": "#e377c2",
}

# =====
# SECCION 2: PARAMETROS DEL MODELO
# =====

WEIGHTS_BASE = {
    "D": {"alpha": 0.40, "beta": 0.10, "gamma": 0.25, "delta": 0.25},
    "R1": {"alpha": 0.30, "beta": 0.15, "gamma": 0.35, "delta": 0.20},
    "R2": {"alpha": 0.25, "beta": 0.35, "gamma": 0.15, "delta": 0.25},
}

PAYOFFS_BASE = {
    "Statu Quo": {"D": (1.0, 0.7, 0.0, 1.0), "R1": (0.6, 0.5, 0.0, 0.5),
    "R2": (0.5, 0.7, 0.0, 0.5)},
    "Concesion D": {"D": (0.4, 0.6, 0.1, 0.1), "R1": (0.9, 0.7, 0.05, 0.9),
    "R2": (0.6, 0.7, 0.0, 0.6)},
    "CEL": {"D": (0.8, 0.4, 0.3, 0.7), "R1": (0.5, 0.3, 0.4, 0.6),
    "R2": (0.6, 0.5, 0.2, 0.5)},
    "Bilateral D-R1": {"D": (0.7, 0.2, 0.7, 0.8), "R1": (0.3, 0.1, 0.8, 0.7),
    "R2": (0.7, 0.6, 0.1, 0.4)},
    "Simultaneo": {"D": (0.5, 0.1, 0.9, 0.6), "R1": (0.2, 0.05, 0.9, 0.5),
    "R2": (0.3, 0.1, 0.8, 0.6)},
    "Oportunismo R2": {"D": (0.3, 0.5, 0.2, 0.0), "R1": (0.8, 0.6, 0.1, 0.8),
    "R2": (0.8, 0.8, 0.1, 0.8)},
}

PARAMS_BASE = {
    "p_D": 0.65, "p_R1": 0.50, "p_R2": 0.60,
    "G": 0.55, "w": 0.70, "F": 0.40,
}

PARAM_NAMES = ["p_D", "p_R1", "p_R2", "G", "w", "F"]

# =====
# SECCION 3: FUNCIONES DEL MODELO
# =====
def renormalizar_pesos(weights):

```

```

    """Renormaliza (alpha, beta, gamma, delta) de cada jugador para que sumen
    1.0."""
    for jugador in ("D", "R1", "R2"):
        total = sum(weights[jugador].values())
        if total > 0:
            for k in weights[jugador]:
                weights[jugador][k] /= total
    return weights

def clip_params(params):
    """Asegura que todos los parametros esten en [0, 1]."""
    for k in params:
        params[k] = np.clip(params[k], 0.0, 1.0)
    return params

def utilidad(jugador, resultado, payoffs, weights):
    """U_i(k) = alpha*S + beta*R - gamma*C + delta*rho"""
    S, R, C, rho = payoffs[resultado][jugador]
    w = weights[jugador]
    return w["alpha"]*S + w["beta"]*R - w["gamma"]*C + w["delta"]*rho

def precalcular_utilidades(weights, payoffs):
    """Calcula utilidades base (sin ruido) para todos los jugadores y
    resultados."""
    u = {}
    for jugador in ("D", "R1", "R2"):
        u[jugador] = {}
        for resultado in OUTCOMES:
            u[jugador][resultado] = utilidad(jugador, resultado, payoffs,
weights)
    return u

def sortear_tipos(params, rng):
    """Genera tipos aleatorios segun distribuciones del modelo."""
    p_D, p_R1, p_R2 = params["p_D"], params["p_R1"], params["p_R2"]

    # D: Firme (p_D), Semi-Firme (0.4*(1-p_D)), Semi-Sumiso (0.4*(1-p_D)),
Sumiso (0.2*(1-p_D))
    r = rng.random()
    if r < p_D:
        tipo_D = "Firme"
    elif r < p_D + (1 - p_D) * 0.4:
        tipo_D = "Semi-Firme"
    elif r < p_D + (1 - p_D) * 0.8:
        tipo_D = "Semi-Sumiso"

```

```

else:
    tipo_D = "Sumiso"

# R1: Determinado (p_R1), Vacilante (0.5*(1-p_R1)), Cauto (0.5*(1-p_R1))
r = rng.random()
if r < p_R1:
    tipo_R1 = "Determinado"
elif r < p_R1 + (1 - p_R1) * 0.5:
    tipo_R1 = "Vacilante"
else:
    tipo_R1 = "Cauto"

# R2: Persistente/Oportunista (p_R2), Contenido/Oportunista (0.6*(1-
p_R2)),
#     Contenido/Renuente (0.4*(1-p_R2))
r = rng.random()
if r < p_R2:
    tipo_R2 = "Persistente_Oportunista"
elif r < p_R2 + (1 - p_R2) * 0.6:
    tipo_R2 = "Contenido_Oportunista"
else:
    tipo_R2 = "Contenido_Renuente"

return tipo_D, tipo_R1, tipo_R2

# =====
# SECCION 4: LOGICA DE DECISION (INDUCCION HACIA ATRAS)
# =====
def resolver_juego(rng, u_base, params):
    """
    Resuelve una instancia del juego tripolar.
    u_base: utilidades precalculadas (sin ruido).
    Retorna el nombre del resultado.
    """
    p_D = params["p_D"]
    p_R1 = params["p_R1"]
    p_R2 = params["p_R2"]
    G = params["G"]
    w = params["w"]
    F = params["F"]

    noise = lambda: rng.normal(0, SIGMA_NOISE)
    tipo_D, tipo_R1, tipo_R2 = sortear_tipos(params, rng)

    # Utilidad con ruido (usa precalculo + ruido fresco)
    def U(jugador, resultado):
        return u_base[jugador][resultado] + noise()

    # === PASO 1: R1 decide si demandar ===

```

```

if tipo_R1 == "Vacilante" and p_D > 0.6 + noise():
    return "Statu Quo"
if tipo_R1 == "Cauto" and p_D > 0.7 + noise():
    return "Statu Quo"

# === PASO 2: D decide respuesta ===
if tipo_D == "Sumiso":
    if tipo_R2 in ("Persistente_Oportunista", "Contenido_Oportunista"):
        if U("R2", "Oportunismo R2") > U("R2", "Concesion D"):
            return "Oportunismo R2"
        return "Concesion D"

if tipo_D in ("Firme", "Semi-Firme"):
    umbral_coercion = 0.5 - w * 0.10
    if G > umbral_coercion + noise():
        d_respuesta = "Coercion_Energetica"
    else:
        d_respuesta = "Resistencia_Militar"

else: # Semi-Sumiso
    if G > 0.4 + noise():
        d_respuesta = "Coercion_Energetica"
    else:
        if tipo_R2 in ("Persistente_Oportunista",
"Contenido_Oportunista"):
            if U("R2", "Oportunismo R2") > U("R2", "Concesion D"):
                return "Oportunismo R2"
            return "Concesion D"

# === PASO 3: R1 reacciona ===
resultado_militar = False

if d_respuesta == "Coercion_Energetica":
    U_capitular = u_base["R1"]["Statu Quo"] * 0.8 + noise()
    U_contracoercion = u_base["R1"]["CEL"] + F * 0.08 + noise()
    U_escalador = (p_R2 * u_base["R1"]["Simultaneo"]
        + (1 - p_R2) * u_base["R1"]["Bilateral D-R1"] + noise())

    if tipo_R1 == "Determinado":
        if U_escalador > U_contracoercion:
            resultado_militar = True
        else:
            return "CEL"
    elif tipo_R1 == "Vacilante":
        if U_capitular > max(U_contracoercion, U_escalador):
            return "Statu Quo"
        elif U_contracoercion > U_escalador:
            return "CEL"
    else:

```

```

        resultado_militar = True
    else: # Cauto
        if p_R2 > 0.5 + noise() and U_escalador > U_contracoercion:
            resultado_militar = True
        elif U_contracoercion > U_capitular:
            return "CEL"
        else:
            return "Statu Quo"

    else: # Resistencia_Militar
        if tipo_R1 == "Determinado":
            resultado_militar = True
        elif tipo_R1 == "Vacilante":
            resultado_militar = (w < 0.4 + noise())
        else: # Cauto
            resultado_militar = (p_R2 > 0.5 + noise())

    if not resultado_militar:
        return "Statu Quo"

    # === PASO 4: R2 decide si intervenir ===
    # Prima de oportunismo estrategico: el tipo Persistente/Oportunista
    # esta dispuesto a asumir costes inmediatos por ganancias de revision
    # territorial mientras D esta distraido. Fragmentacion alta y sombra
    # baja amplifican este calculo.
    U_R2_interv = U("R2", "Simultaneo")
    U_R2_abst = U("R2", "Bilateral D-R1")
    bonus = F * 0.20 - w * 0.10

    if tipo_R2 == "Persistente_Oportunista":
        prima = 0.20 + F * 0.15 + (1 - w) * 0.10
        if U_R2_interv + bonus + prima > U_R2_abst:
            return "Simultaneo"
    elif tipo_R2 == "Contenido_Oportunista":
        prima = 0.05 + F * 0.10
        if U_R2_interv + bonus + prima > U_R2_abst + 0.10:
            return "Simultaneo"

    return "Bilateral D-R1"

def resolver_juego_bipolar(rng, u_base, params):
    """
    Version bipolar: sin R2. Resultados: SQ, Concesion D, CEL, Bilateral.
    Cauto se comporta como Vacilante en decisiones militares (no depende de
    p_R2).
    """
    p_D = params["p_D"]
    G = params["G"]

```

```

w = params["w"]
F = params["F"]

noise = lambda: rng.normal(0, SIGMA_NOISE)
tipo_D, tipo_R1, _ = sortear_tipos(params, rng)

# === PASO 1: R1 decide si demandar ===
if tipo_R1 == "Vacilante" and p_D > 0.6 + noise():
    return "Statu Quo"
if tipo_R1 == "Cauto" and p_D > 0.7 + noise():
    return "Statu Quo"

# === PASO 2: D decide respuesta ===
if tipo_D == "Sumiso":
    return "Concesion D"

if tipo_D in ("Firme", "Semi-Firme"):
    umbral_coercion = 0.5 - w * 0.10
    if G > umbral_coercion + noise():
        d_respuesta = "Coercion_Energetica"
    else:
        d_respuesta = "Resistencia_Militar"
else: # Semi-Sumiso
    if G > 0.4 + noise():
        d_respuesta = "Coercion_Energetica"
    else:
        return "Concesion D"

# === PASO 3: R1 reacciona ===
resultado_militar = False

if d_respuesta == "Coercion_Energetica":
    U_capitular = u_base["R1"]["Statu Quo"] * 0.8 + noise()
    U_contracoercion = u_base["R1"]["CEL"] + F * 0.08 + noise()
    U_escalador = u_base["R1"]["Bilateral D-R1"] + noise()

    if tipo_R1 == "Determinado":
        if U_escalador > U_contracoercion:
            resultado_militar = True
        else:
            return "CEL"
    else: # Vacilante y Cauto: misma logica en bipolar
        if U_capitular > max(U_contracoercion, U_escalador):
            return "Statu Quo"
        elif U_contracoercion > U_escalador:
            return "CEL"
        else:
            resultado_militar = True

```

```

else: # Resistencia_Militar
    if tipo_R1 == "Determinado":
        resultado_militar = True
    else: # Vacilante y Cautó: misma logica en bipolar
        resultado_militar = (w < 0.4 + noise())

    return "Bilateral D-R1" if resultado_militar else "Statu Quo"

# =====
# SECCION 5: ESCENARIOS DE ESTRES
# =====
# Cada escenario: dict de modificaciones a pesos, params, y payoffs
MODIFICACIONES_ESCENARIOS = {
    "Base": {},
    "Shock Precio": {
        "weights": {"R2": {"beta": +0.10}, "R1": {"gamma": +0.10}},
        "params": {"G": -0.15, "p_R2": +0.10},
    },
    "Corte Suministro": {
        "params": {"G": +0.15, "p_R2": +0.15, "w": -0.15},
        "payoffs_C_D_conflict": +0.10,
    },
    "Bloqueo Maritimo": {
        "weights": {"R1": {"gamma": +0.20}},
        "params": {"p_R1": +0.15, "F": +0.15, "G": +0.10},
    },
    "Fragmentacion Bloques": {
        "weights": {"R2": {"beta": -0.10}},
        "params": {"F": +0.30, "w": -0.25, "p_D": +0.10},
    },
    "Convergencia R-Ch": {
        "weights": {"R1": {"gamma": -0.10}},
        "params": {"p_R2": +0.10, "p_R1": +0.10, "G": -0.20, "w": +0.10, "F":
+0.10},
    },
    "Transicion Energ.": {
        "weights": {"R2": {"beta": -0.15}, "R1": {"gamma": -0.10}},
        "params": {"w": -0.30, "p_R2": +0.15, "F": +0.05},
    },
}

def aplicar_escenario(nombre):
    """Aplica modificaciones del escenario, renormaliza pesos, y clipa
    parametros."""
    w = deepcopy(WEIGHTS_BASE)
    p = deepcopy(PAYOFFS_BASE)
    par = deepcopy(PARAMS_BASE)

```

```

mods = MODIFICACIONES_ESCENARIOS[nombre]

# Modificar pesos
for jugador, cambios in mods.get("weights", {}).items():
    for peso, delta in cambios.items():
        w[jugador][peso] = max(w[jugador][peso] + delta, 0.0)

# Modificar parametros
for param, delta in mods.get("params", {}).items():
    par[param] += delta

# Caso especial: Corte Suministro incrementa C_D en resultados de
conflicto
if "payoffs_C_D_conflict" in mods:
    delta_c = mods["payoffs_C_D_conflict"]
    for out in ("CEL", "Bilateral D-R1", "Simultaneo"):
        S, R, C, rho = p[out]["D"]
        p[out]["D"] = (S, R, min(C + delta_c, 1.0), rho)

renormalizar_pesos(w)
clip_params(par)
return w, p, par

# =====
# SECCION 6: MOTOR MONTE CARLO
# =====
def monte_carlo(n_sim, weights, payoffs, params, bipolar=False, seed=SEED):
    """Ejecuta n_sim simulaciones. Precalcula utilidades una vez."""
    rng = np.random.default_rng(seed)
    u_base = precalcular_utilidades(weights, payoffs)
    resolver = resolver_juego_bipolar if bipolar else resolver_juego
    return [resolver(rng, u_base, params) for _ in range(n_sim)]

def contar_probabilidades(resultados, outcomes_list):
    """Cuenta frecuencias relativas de cada resultado."""
    n = len(resultados)
    conteo = {o: 0 for o in outcomes_list}
    for r in resultados:
        conteo[r] += 1
    return {o: conteo[o] / n for o in outcomes_list}

def ic95(p, n):
    """Intervalo de confianza de Wald al 95%: p +/- 1.96*sqrt(p*(1-p)/n)."""
    se = np.sqrt(p * (1 - p) / n)
    return (max(0.0, p - 1.96 * se), min(1.0, p + 1.96 * se))

# =====

```

```

# SECCION 7: GENERACION DE OUTPUTS
# =====
def guardar_path(nombre):
    """Ruta completa para guardar un archivo en output/."""
    return os.path.join(OUTPUT_DIR, nombre)

def generar_tablas(probs_tri, probs_bi):
    """Genera CSVs y muestra tablas en consola."""
    # Tripolar
    filas = []
    for esc in ESCENARIOS:
        for out in OUTCOMES:
            p_val = probs_tri[esc][out]
            lo, hi = ic95(p_val, N_SIM)
            filas.append({"Escenario": esc, "Resultado": out,
                          "Probabilidad": round(p_val, 4),
                          "IC95_inf": round(lo, 4), "IC95_sup": round(hi,
4)})
    df_tri = pd.DataFrame(filas)
    df_tri.to_csv(guardar_path("tabla_resumen_tripolar.csv"), index=False)

    # Bipolar
    filas_bi = []
    for esc in ESCENARIOS:
        for out in OUTCOMES_BIPOLAR:
            p_val = probs_bi[esc][out]
            lo, hi = ic95(p_val, N_SIM)
            filas_bi.append({"Escenario": esc, "Resultado": out,
                              "Probabilidad": round(p_val, 4),
                              "IC95_inf": round(lo, 4), "IC95_sup": round(hi,
4)})
    df_bi = pd.DataFrame(filas_bi)
    df_bi.to_csv(guardar_path("tabla_resumen_bipolar.csv"), index=False)

    print("-- TABLA RESUMEN (Tripolar) --")
    pivot = df_tri.pivot(index="Resultado", columns="Escenario",
values="Probabilidad")
    print(pivot[ESCENARIOS].to_string())
    print()

    print("-- TABLA RESUMEN (Bipolar) --")
    pivot_bi = df_bi.pivot(index="Resultado", columns="Escenario",
values="Probabilidad")
    print(pivot_bi[ESCENARIOS].to_string())
    print()

def generar_barras_agrupadas(probs_tri):

```

```

"""Fig 1: distribucion de resultados por escenario."""
# Subplot 2x1: alta probabilidad (SQ, CEL) arriba, baja probabilidad
abajo
alta_prob = ["Statu Quo", "CEL"]
baja_prob = ["Concesion D", "Bilateral D-R1", "Simultaneo", "Oportunismo
R2"]

fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(14, 10))
n_esc = len(ESCENARIOS)

for ax, outcomes_sub, titulo in [
    (ax1, alta_prob, "Resultados de alta probabilidad"),
    (ax2, baja_prob, "Resultados de baja probabilidad"),
]:
    x = np.arange(len(outcomes_sub))
    width = 0.8 / n_esc
    for i, esc in enumerate(ESCENARIOS):
        vals = [probs_tri[esc][o] for o in outcomes_sub]
        ax.bar(x + i * width - 0.4 + width/2, vals, width,
              label=esc, color=COLORES[esc])
    ax.set_xticks(x)
    ax.set_xticklabels(outcomes_sub, fontsize=12)
    ax.set_ylabel("Probabilidad")
    ax.set_title(titulo)
    ax.yaxis.set_major_formatter(mticker.PercentFormatter(1.0))
    ax.legend(fontsize=8, loc="upper right")

plt.tight_layout()
plt.savefig(guardar_path("fig1_distribucion_resultados.png"), dpi=DPI)
plt.close()

def generar_tornado(probs_tri):
    """Fig 2: tornado chart de sensibilidad para P(Statu Quo)."""
    base_sq = probs_tri["Base"]["Statu Quo"]
    tornado_data = {}

    for pname in PARAM_NAMES:
        tornado_data[pname] = {}
        for direction, factor in [("low", 0.8), ("high", 1.2)]:
            wt, pt, par = aplicar_escenario("Base")
            par[pname] = np.clip(PARAMS_BASE[pname] * factor, 0.0, 1.0)
            res = monte_carlo(N_SIM, wt, pt, par, bipolar=False)
            tornado_data[pname][direction] = contar_probabilidades(res,
OUTCOMES)["Statu Quo"]

    # Ordenar por rango (impacto)
    rangos = {p: abs(tornado_data[p]["high"] - tornado_data[p]["low"])
              for p in PARAM_NAMES}

```

```

param_sorted = sorted(PARAM_NAMES, key=lambda p: rangos[p])

fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 5))
for i, pname in enumerate(param_sorted):
    low_val = tornado_data[pname]["low"]
    high_val = tornado_data[pname]["high"]
    ax.barh(i, high_val - base_sq, left=base_sq, height=0.5,
            color="#3498db", label="+20%" if i == len(param_sorted)-1
else "")
    ax.barh(i, low_val - base_sq, left=base_sq, height=0.5,
            color="#e74c3c", label="-20%" if i == len(param_sorted)-1
else "")

ax.set_yticks(range(len(param_sorted)))
ax.set_yticklabels(param_sorted)
ax.axvline(base_sq, color="black", linewidth=1, linestyle="--")
ax.set_xlabel("P(Statu Quo)")
ax.set_title("Análisis de sensibilidad - Tornado Chart")
ax.legend(loc="lower right")
ax.xaxis.set_major_formatter(mticker.PercentFormatter(1.0))
plt.tight_layout()
plt.savefig(guardar_path("fig2_tornado_sensibilidad.png"), dpi=DPI)
plt.close()

return rangos

def generar_bipolar_vs_tripolar(probs_tri, probs_bi):
    """Fig 3: probabilidad de escalada bipolar vs tripolar."""
    outcomes_esc_tri = ["CEL", "Bilateral D-R1", "Simultaneo"]
    outcomes_esc_bi = ["CEL", "Bilateral D-R1"]

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 5))
    x = np.arange(len(ESCENARIOS))
    width = 0.35

    vals_tri = [sum(probs_tri[e][o] for o in outcomes_esc_tri) for e in
ESCENARIOS]
    vals_bi = [sum(probs_bi[e].get(o, 0) for o in outcomes_esc_bi) for e in
ESCENARIOS]

    ax.bar(x - width/2, vals_bi, width, label="Bipolar", color="#3498db")
    ax.bar(x + width/2, vals_tri, width, label="Tripolar", color="#e74c3c")

    ax.set_xticks(x)
    ax.set_xticklabels(ESCENARIOS, rotation=20, ha="right", fontsize=10)
    ax.set_ylabel("P(Escalada)")
    ax.set_title("Probabilidad de escalada: Bipolaridad vs. Tripolaridad")
    ax.legend()

```

```

ax.yaxis.set_major_formatter(mticker.PercentFormatter(1.0))
plt.tight_layout()
plt.savefig(guardar_path("fig3_bipolar_vs_tripolar.png"), dpi=DPI)
plt.close()

return vals_tri, vals_bi

def generar_heatmap():
    """Fig 4: heatmap P(SQ) para caso base, variando G y p_D."""
    G_range = np.linspace(0.20, 0.80, 13)
    pD_range = np.linspace(0.30, 0.90, 13)

    # Precalculando escenario base una sola vez (pesos y payoffs no cambian)
    wt, pt, _ = aplicar_escenario("Base")

    heatmap_data = np.zeros((len(pD_range), len(G_range)))
    for i, pD_val in enumerate(pD_range):
        for j, G_val in enumerate(G_range):
            par = deepcopy(PARAMS_BASE)
            par["p_D"] = pD_val
            par["G"] = G_val
            res = monte_carlo(N_SIM_HEAT, wt, pt, par, bipolar=False,
seed=SEED)
            heatmap_data[i, j] = contar_probabilidades(res, OUTCOMES)["Statu
Quo"]

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 7))
    sns.heatmap(
        heatmap_data, ax=ax, cmap="RdYlGn", vmin=0, vmax=1,
        xticklabels=[f"{g:.2f}" for g in G_range],
        yticklabels=[f"{p:.2f}" for p in pD_range],
        annot=True, fmt=".2f", annot_kws={"size": 8},
    )
    ax.set_xlabel("Brecha de imposición (G)")
    ax.set_ylabel("Credibilidad del defensor (p_D)")
    ax.set_title("P(Statu Quo) - Caso Base")
    plt.tight_layout()
    plt.savefig(guardar_path("fig4_heatmap_base.png"), dpi=DPI)
    plt.close()

def generar_curva_fragmentacion():
    """Fig 5: P(SQ) en función de la fragmentación F, una línea por
escenario."""
    F_range = np.linspace(0.10, 0.80, 15)

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(11, 5))
    for esc in ESCENARIOS:

```

```

    wt, pt, par_base = aplicar_escenario(esc)
    prob_sq_by_F = []
    for F_val in F_range:
        par = deepcopy(par_base)
        par["F"] = F_val
        res = monte_carlo(N_SIM_HEAT, wt, pt, par, bipolar=False,
seed=SEED)
        prob_sq_by_F.append(contar_probabilidades(res, OUTCOMES)["Statu
Quo"])
    ax.plot(F_range, prob_sq_by_F, marker="o", markersize=3,
            label=esc, color=COLORES[esc], linewidth=1.5)

ax.set_xlabel("Fragmentacion de red (F)")
ax.set_ylabel("P(Statu Quo)")
ax.set_title("Probabilidad de paz estable segun fragmentacion")
ax.legend(fontsize=8)
ax.yaxis.set_major_formatter(mticker.PercentFormatter(1.0))
plt.tight_layout()
plt.savefig(guardar_path("fig5_fragmentacion_paz.png"), dpi=DPI)
plt.close()

def generar_tabla_utilidades(probs_tri):
    """Tabla de utilidades esperadas por jugador y escenario (CSV)."""
    filas = []
    for esc in ESCENARIOS:
        wt, pt, par = aplicar_escenario(esc)
        probs = probs_tri[esc]
        for jugador in ("D", "R1", "R2"):
            u_esp = sum(probs[out] * utilidad(jugador, out, pt, wt) for out
in OUTCOMES)
            filas.append({"Escenario": esc, "Jugador": jugador,
                          "Utilidad_Esperada": round(u_esp, 4)})
    df = pd.DataFrame(filas)
    df.to_csv(guardar_path("tabla_utilidades_esperadas.csv"), index=False)

    print("-- UTILIDADES ESPERADAS --")
    pivot = df.pivot(index="Jugador", columns="Escenario",
values="Utilidad_Esperada")
    print(pivot[ESCENARIOS].to_string())
    print()

def generar_radar(probs_tri):
    """Fig 6: radar chart de perfil de riesgo por escenario."""
    N = len(OUTCOMES)
    angles = [n / float(N) * 2 * pi for n in range(N)]
    angles += angles[:1]

```

```

fig, ax = plt.subplots(figsize=(9, 9), subplot_kw=dict(polar=True))
ax.set_theta_offset(pi / 2)
ax.set_theta_direction(-1)
ax.set_rlabel_position(0)
plt.xticks(angles[:-1], OUTCOMES, size=10)

for esc in ESCENARIOS:
    values = [probs_tri[esc][o] for o in OUTCOMES]
    values += values[:1]
    ax.plot(angles, values, linewidth=1.5, label=esc, color=COLORES[esc])
    ax.fill(angles, values, alpha=0.04, color=COLORES[esc])

ax.set_title("Perfil de riesgo por escenario", size=14, y=1.08)
ax.legend(loc='upper right', bbox_to_anchor=(1.40, 1.10), fontsize=8)
plt.savefig(guardar_path("fig6_radar_riesgo.png"), dpi=DPI,
bbox_inches='tight')
plt.close()

def generar_delta_chart(probs_tri):
    """Fig 7: diferencia de cada escenario respecto al caso base."""
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(14, 6))
    escenarios_stress = ESCENARIOS[1:]
    n_stress = len(escenarios_stress)
    x = np.arange(len(OUTCOMES))
    width = 0.8 / n_stress

    for i, esc in enumerate(escenarios_stress):
        deltas = [probs_tri[esc][o] - probs_tri["Base"][o] for o in OUTCOMES]
        ax.bar(x + i * width - 0.4 + width/2, deltas, width,
            label=esc, color=COLORES[esc])

    ax.axhline(0, color="black", linewidth=0.8)
    ax.set_xticks(x)
    ax.set_xticklabels(OUTCOMES, rotation=15, ha="right")
    ax.set_ylabel("Cambio en probabilidad vs. Base")
    ax.set_title("Delta respecto al caso base")
    ax.legend(fontsize=8, loc="upper right")
    ax.yaxis.set_major_formatter(mticker.PercentFormatter(1.0))
    plt.tight_layout()
    plt.savefig(guardar_path("fig7_delta_vs_base.png"), dpi=DPI)
    plt.close()

# =====
# SECCION 8: EJECUCION PRINCIPAL
# =====
def main():
    t_start = time.time()

```

```

print("=" * 70)
print("  SIMULACION MONTE CARLO - Cap. 5: Stress Test Energeticos")
print("=" * 70)
print(f"  Simulaciones principales: {N_SIM:,}")
print(f"  Simulaciones heatmap/curvas: {N_SIM_HEAT:,}")
print(f"  Semilla: {SEED}")
print()

# --- Simulaciones tripolares ---
probs_tri = {}
for esc in ESCENARIOS:
    wt, pt, par = aplicar_escenario(esc)
    res = monte_carlo(N_SIM, wt, pt, par, bipolar=False)
    probs_tri[esc] = contar_probabilidades(res, OUTCOMES)

# --- Simulaciones bipolares ---
probs_bi = {}
for esc in ESCENARIOS:
    wt, pt, par = aplicar_escenario(esc)
    res = monte_carlo(N_SIM, wt, pt, par, bipolar=True)
    probs_bi[esc] = contar_probabilidades(res, OUTCOMES_BIPOLAR)

# --- Generar outputs ---
generar_tablas(probs_tri, probs_bi)
generar_barras_agrupadas(probs_tri)
rangos_tornado = generar_tornado(probs_tri)
vals_tri_esc, vals_bi_esc = generar_bipolar_vs_tripolar(probs_tri,
probs_bi)
generar_heatmap()
generar_curva_fragmentacion()
generar_tabla_utilidades(probs_tri)
generar_radar(probs_tri)
generar_delta_chart(probs_tri)

# --- Resumen ---
outcomes_escalada = ["CEL", "Bilateral D-R1", "Simultaneo"]
prob_sq_base = probs_tri["Base"]["Statu Quo"]
prob_cel_base = probs_tri["Base"]["CEL"]
prob_mil_base = (probs_tri["Base"]["Bilateral D-R1"]
                + probs_tri["Base"]["Simultaneo"])

esc_mas_inestable = min(ESCENARIOS, key=lambda e: probs_tri[e]["Statu
Quo"])
esc_mas_estable = max(ESCENARIOS, key=lambda e: probs_tri[e]["Statu
Quo"])

param_clave = max(rangos_tornado, key=rangos_tornado.get)
param_low = prob_sq_base - rangos_tornado[param_clave] / 2
param_high = prob_sq_base + rangos_tornado[param_clave] / 2

```

```

diffs_bip_trip = {esc: vals_tri_esc[i] - vals_bi_esc[i]
                  for i, esc in enumerate(ESCENARIOS)}
esc_max_diff = max(diffs_bip_trip, key=lambda e: abs(diffs_bip_trip[e]))

t_elapsed = time.time() - t_start

print("=" * 70)
print(" RESUMEN DE RESULTADOS")
print("=" * 70)

for esc in ESCENARIOS:
    pr = probs_tri[esc]
    print(f"\n [{esc}]")
    print(f"    P(Paz estable)           = {pr['Statu Quo']:.1%}")
    print(f"    P(Escalada total)           = {sum(pr[o] for o in
outcomes_escalada):.1%}")
    print(f"    P(Conflicto Simultaneo) = {pr['Simultaneo']:.1%}")
    print(f"    P(Oportunismo R2)       = {pr['Oportunismo R2']:.1%}")

print()
print(f" Caso base: P(SQ) = {prob_sq_base:.1%}, "
      f"P(CEL) = {prob_cel_base:.1%}, "
      f"P(Escalada militar) = {prob_mil_base:.1%}")
print(f" Escenario mas desestabilizador: {esc_mas_inestable} "
      f"con P(SQ) = {probs_tri[esc_mas_inestable]['Statu Quo']:.1%}")
print(f" Escenario mas estable: {esc_mas_estable} "
      f"con P(SQ) = {probs_tri[esc_mas_estable]['Statu Quo']:.1%}")
print(f" Parametro mas influyente: {param_clave} "
      f"(rango tornado: {param_low:.1%} - {param_high:.1%}")
print(f" Diferencia bipolar-tripolar maxima: {esc_max_diff} "
      f"({diffs_bip_trip[esc_max_diff]:+.1%} pp)")
print(f" Tiempo de ejecucion: {t_elapsed:.1f} segundos")

print(f"\n Archivos generados en {OUTPUT_DIR}/:")
for f in sorted(os.listdir(OUTPUT_DIR)):
    print(f"    - {f}")
print("=" * 70)

if __name__ == "__main__":
    main()

```