



AINKAA

Revista de Estudiantes de Ciencia Política
Volumen 9 - N° 16
Julio 2024 - febrero de 2025
e-ISSN: 2590-7832

Recibido: 13-11-2018
Aceptado: 08-04-2019

Cómo citar esta traducción: Lenine, E. (2019). Conflicto internacional y juegos estratégicos: cuestionando los enfoques convencionales de la modelación matemática en las Relaciones Internacionales (E. Gutiérrez Ossa & J. M. Porras Garzón, Trads.). Ainkaa, Revista de Estudiantes de Ciencia Política, 9(16), 97–120. (Trabajo original publicado en Carta Internacional, 14(1), 80–102).

Traducción International conflict and strategic games: challenging conventional approaches to mathematical modelling in International Relations

Emanuel Gutiérrez Ossa
Jorge Mario Porras Garzón
Universidad de Antioquia



International conflict and strategic games: challenging conventional approaches to mathematical modelling in International Relations*

Conflictos internacionales y juegos de estrategia: desafíos a los enfoques convencionales de modelización matemática en las Relaciones Internacionales

Enzo Lenine**

Traducción de Emanuel Gutiérrez Ossa***

y Jorge Mario Porras Garzón****

* Texto original: Enzo Lenine (2019). International conflict and strategic games: challenging conventional approaches to mathematical modelling in International Relations. Revista Carta Internacional, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, 2019, p. 80–102. DOI: 10.21530/ci.v14n1.2019.865. © Autor(es) 2019. Acceso abierto Este artículo está disponible bajo los términos de una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional, que permite utilizar, compartir, adaptar, distribuir y reproducir la obra en cualquier medio o formato, siempre que se dé crédito de manera adecuada al autor o autores originales y a la fuente, se brinde un enlace a la licencia Creative Commons y se indique si se han realizado cambios. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en una línea de crédito al material. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons del artículo y el uso que se pretende hacer de este no está permitido por la normativa legal o excede el uso permitido, deberá solicitarse el permiso directamente del titular de los derechos de autor. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

** Doctor en Ciencias Políticas por la Universidad Federal de Rio Grande del Sur y profesor de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales en la Universidad Federal de Bahía, Salvador, Brasil.

*** Traductor Inglés-francés-español por la Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: emanuel.gutierrez1@udea.edu.co.

**** Traductor Inglés-francés-español por la Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: jorge.porras@udea.edu.co.

Resumen

La prevalencia de los conflictos internacionales los convierte en uno de los principales temas de discusión entre los académicos de las Relaciones Internacionales (RR. II.). La disciplina ha intentado en gran medida modelizar las condiciones y los escenarios en los que surgen los conflictos armados, y en ocasiones ha empleado modelos formales como herramientas para generar hipótesis y predicciones. En este artículo analizo dos enfoques distintos para la modelización formal en las RR. II.: uno que ajusta los datos a modelos matemáticos y otro que obtiene ecuaciones estadísticas directamente de las premisas de un modelo. Mediante este análisis, planteo la siguiente pregunta: ¿cómo deben vincularse las matemáticas y la estadística para probar de forma coherente la validez de los modelos formales en las RR. II? Para responder a esta pregunta, examiné el modelo de costos de audiencia de James Fearon y el juego de interacción estratégica de Curtis Signorino, y destacé sus supuestos matemáticos e implicaciones para la comprobación de modelos formales. Sostengo que el enfoque de Signorino ofrece un conjunto más coherente de herramientas epistemológicas y metodológicas para probar modelos, ya que obtiene ecuaciones estadísticas que respetan los supuestos de un modelo, mientras que el enfoque de ajuste de datos tiende a ignorar tales consideraciones.

Palabras clave: modelización formal, prueba empírica, conflicto internacional, costo de audiencia, juegos de interacción estratégica.

Resumo

A prevalência dos conflitos internacionais faz deste um dos principais tópicos de discussão entre os acadêmicos de Relações Internacionais. A disciplina tem tentado extensivamente modelar as condições e configurações sob as quais o conflito armado emerge, às vezes recorrendo a modelos formais como ferramentas para gerar hipóteses e previsões. Neste artigo, analiso duas abordagens distintas para a modelagem formal em RI: uma que encaixa dados em modelos matemáticos e outra que deriva equações estatísticas diretamente das premissas do modelo. Ao fazê-lo, levanto a seguinte questão: como a matemática e a estatística devem ser vinculadas para testar consistentemente a validade dos modelos formais em RI? Para responder esta pergunta, examino o modelo de custos de audiência de James Fearon e o jogo de interação estratégica de Curtis Signorino, destacando suas suposições matemáticas e implicações para testar modelos formais. Argumento que a abordagem de Signorino oferece um conjunto mais consistente de ferramentas epistemológicas e metodológicas para testar modelos, uma vez que deriva equações estatísticas que respeitam as premissas do modelo, enquanto a abordagem de ajuste de dados tende a ignorar tais considerações.

Palavras-chave: modelagem formal, teste empírico, conflito internacional, custos de audiência, jogos de interação estratégica.

Introducción

Los estudios de los conflictos armados se remontan a la antigüedad, incluso cuando las Relaciones Internacionales no eran conocidas como un campo o disciplina específica. El relato de Tucídides sobre la guerra del Peloponeso es quizás uno de los textos más antiguos que abordan las implicaciones del conflicto militar desde una perspectiva realista. Sin embargo, fue en el siglo XX cuando las RR. II. prosperaron como disciplina propia, dándose a conocer por sus intensos debates teóricos sobre la naturaleza del sistema internacional y sus efectos en las perspectivas de guerra y paz. La anarquía caracteriza la escena internacional y la ausencia de una autoridad central puede llevar a los Estados hacia vías de conflicto o de cooperación.

Los debates teóricos en el ámbito de las RR. II. intentan explicar el comportamiento de los Estados con base en modelos de poder, decisión y cooperación. *Política entre las naciones* de Hans Morgenthau (2003) presenta el modelo de equilibrio de poder, que sustenta la teoría realista de las RR. II. y se ha convertido en una de las explicaciones más generalizadas de las interacciones estatales en el ámbito internacional, mientras que *Power and Interdependence: World Politics in Transition* de Robert Keohane y Joseph Nye (2011) ofrece un modelo más cooperativo de interacción estatal, al ser un clásico de las teorías neoliberales de las RR. II; sin embargo, estos modelos no son formales en el sentido de que contengan expresiones matemáticas, teoremas y proposiciones. El equilibrio de poder y la interdependencia compleja son más bien

construcciones discursivas, conectadas a menudo con evaluaciones históricas del comportamiento de los Estados.

La modelización formal propiamente dicha puede atribuirse al modelo de carrera armamentista de Lewis Richardson (1960) y al modelo de disuasión de Thomas Schelling (1960), que permitieron realizar mejoras y avances en la investigación sobre conflictos internacionales, al estimular el diseño de modelos formales más precisos y la posterior comprobación de estos. Además, la construcción de conjuntos de datos sobre conflictos proporcionó a los académicos herramientas para evaluar la validez de sus modelos y las hipótesis que generan.

La mayoría de los modelos toman prestados sus supuestos y procedimientos metodológicos de la Teoría de la elección racional (en adelante, TER): con frecuencia suponen que los Estados son actores unitarios racionales y que maximizan la utilidad. La Teoría de juegos es el enfoque más común para modelizar el conflicto y la cooperación internacionales porque presuponen una negociación, la cual se representa de manera más eficiente mediante escenarios teóricos de juegos. Como es de esperar, este enfoque orientado a la elección racional genera críticas en el ámbito académico, con investigadores que cuestionan la validez empírica de los modelos formales.

Probar el valor empírico de un modelo es una tarea difícil. Existe una tensión entre, por un lado, ajustar los datos al modelo sin derivar previamente las ecuaciones adecuadas y, por otro, concebir

pruebas estadísticas directamente a partir del modelo matemático; esta cuestión es de suma importancia si se quiere evaluar el poder explicativo de un modelo. La literatura aborda las pruebas empíricas de diferentes maneras y, en consecuencia, llega a conclusiones distintas sobre la validez de un modelo. No hay una respuesta única y directa a la pregunta de cómo deben concebirse las pruebas empíricas de los modelos formales, y uno de los objetivos de este artículo consiste en discutir los diferentes enfoques adoptados por los diseñadores de modelos formales. Muchos investigadores prefieren realizar las pruebas empíricas por separado, como en los modelos de ajuste de datos: se construye un modelo matemático y después se comprueba si tiene significación estadística o ejemplos históricos. Este procedimiento abre las puertas a diversas preguntas sobre el sesgo de selección, la representación adecuada de los supuestos matemáticos, etc. En tiempos más recientes, algunos politólogos han dedicado sus esfuerzos a la derivación directa de ecuaciones estadísticas a partir del modelo, respetando sus supuestos matemáticos en la medida de lo posible. Las simulaciones computacionales contribuyen a este esfuerzo al proporcionar un escenario en el que el modelo puede probarse con datos reales y generados por computador.

Dicho esto, planteo la siguiente pregunta: ¿cómo deben vincularse las matemáticas y la estadística para probar de forma coherente la validez de los modelos formales en las RR. II? Sostengo que las pruebas estadísticas derivadas

directamente del modelo matemático proporcionan una validez más firme porque el proceso de derivación respeta la estructura del modelo. A lo largo del resto del artículo, examinaré dos ejemplos de ambos enfoques y sus consecuencias epistemológicas para la modelización formal en las RR. II. Se analizará en profundidad el modelo de costos de audiencia de James Fearon y el juego de interacción estratégica de Curtis Signorino para desvelar sus lógicas subyacentes.

El artículo se divide en cuatro secciones. En la primera se habla de la literatura sobre los costos de audiencia, que ha prosperado tras la publicación del artículo de Fearon en la *American Political Science Review* (APSR), y que se ha centrado sobre todo en pruebas de ajustes de datos para comprobar el modelo. En la segunda sección se analiza el modelo extrapolativo de interacción estratégica de Signorino y sus implicaciones para comprobar modelos en las ciencias políticas y las RR. II. Por último, las secciones finales resumen las enseñanzas de ambos enfoques y evalúan sus ventajas y desventajas con respecto a la prueba empírica de modelos.

Ajustar los datos a los modelos: los costos de audiencia y el juego de la crisis

Desde la publicación del artículo de James Fearon en la APSR en 1994, el panorama de investigación sobre crisis internacionales

ha ido desarrollando nuevas pruebas del modelo de costos de audiencia. Como detalla Fearon:

Describo las crisis como contienen políticas con dos rasgos definitorios. En primer lugar, un Estado puede optar en todo momento por atacar, retirarse o intensificar aún más la crisis. En segundo lugar, si un Estado se retira, sus líderes sufren costos de audiencia que aumentan a medida que la crisis se intensifica; estos costos surgen de la acción de las audiencias interiores preocupadas por el éxito o fracaso de los líderes en la política exterior (FEARON, 1994, p. 577).

En otras palabras, un líder que se enfrenta a una crisis internacional (ya sea económica o política) debe lidiar simultáneamente con el complejo proceso de toma de decisiones que implica la propia crisis y con las reacciones internas a favor o en contra de su desempeño. La Teoría de costos de audiencia se ha generalizado en una variedad de campos, como las crisis militares, las sanciones económicas, las alianzas, el comercio exterior, etc. (TOMZ, 2007). Fearon justifica su aproximación al problema desde la Teoría de juegos al afirmar que «el beneficio principal del análisis formal es un conjunto de resultados de estática comparativa que proporcionan información sobre la dinámica de las disputas internacionales» (FEARON, 1994, p. 577). El juego de la crisis internacional se plantea de la siguiente manera:

Los Estados en conflicto se enfrentan a un dilema: tienen grandes incentivos para saber si hay acuerdos que preferirían antes

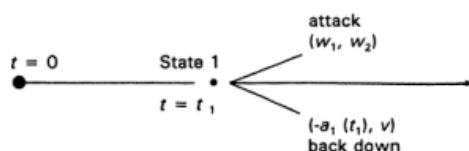
que el uso de la fuerza, pero sus incentivos para tergiversar significan que las formas normales de comunicación diplomática pueden carecer de valor. Sostengo que las crisis internacionales son una respuesta a este dilema. Los Estados recurren a las acciones arriesgadas y provocadoras características de las crisis (es decir, movilización y despliegue de tropas y advertencias o amenazas públicas sobre el uso de la fuerza) porque una diplomacia menos pública podría no permitirles revelar de forma creíble sus propias preferencias en relación con los intereses internacionales o conocer las de otros Estados. (FEARON, 1994, p. 578).

El argumento principal subyacente al modelo es que, a medida que la crisis se intensifica, los costos de audiencia aumentan, lo que obliga al líder a demostrar/señalar su determinación; en las democracias, este efecto tiende a exacerbarse, ya que el líder debe responder ante el público.

El juego de la crisis internacional tiene un árbol de juego simple. La crisis se desarrolla en tiempo continuo, que comienza en $t=0$. Cada punto en el tiempo constituye un nodo en el que el jugador 1 puede elegir entre atacar, abandonar o intensificar la crisis. Si uno de los jugadores ataca antes de que el otro abandone, cada uno recibe sus propias utilidades esperadas; si un jugador abandona antes de que el otro haya abandonado o atacado, sufre costos de audiencia, que muestran un comportamiento lineal (abordaré las implicaciones de la linealidad cuando analice las obras de Signorino) en el modelo de

Fearon. El modelo también establece un horizonte temporal (t_h) en el que la guerra es inevitable, y es una función del aumento de los costos de audiencia. El juego de la crisis se representa en la figura 1.

Figura 1: Juego de la crisis internacional



Fuente: FEARON, 1994. [Estado 1 atacar, abandonar]

Fearon deriva dos lemas y tres proposiciones para resolver el equilibrio en el juego de información incompleta. El modelo indica que existe una variedad de equilibrios hasta t^* , que es el horizonte límite antes de que cualquier jugador decida atacar. Fearon describe el equilibrio como una guerra de coraje, basada en las expectativas de hacer concesiones discretas o de intensificar y finalmente librar una guerra. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, los costos de audiencia aumentan linealmente y se alcanza el t_h . La intensificación limita las vías de acción disponibles, lo que dificulta que un Estado se retire. Además, las funciones de densidad de probabilidad, que representan las creencias iniciales de los jugadores, desempeñan un papel importante en la definición de los resultados del juego, ya que implican las capacidades observables y los intereses de cada jugador.

Podrían plantearse dos cuestiones sobre el modelo de Fearon. La primera se refiere a la propia existencia de los costos

de audiencia. La segunda, suponiendo que los costos de audiencia existen, está relacionada con el comportamiento de la función $a_i(t)$, que se supone que es lineal en el modelo original. La investigación al respecto ha tratado ampliamente la primera cuestión, pero hay muchas polémicas en ese debate. El tema de la función lineal puede sonar como un tecnicismo matemático, pero ofrece una oportunidad para comprobar el modelo. Si los costos de audiencia existen y pueden medirse, se pueden recopilar puntos de datos, ejecutar un modelo de ajuste de curvas y evaluar cómo cambia el equilibrio. Curiosamente, Fearon (1994) no da ninguna explicación de por qué eligió la forma lineal, lo que nos haría suponer que lo hizo por cuestiones de simplicidad matemática, pero esto no queda claro en su trabajo.

Los trabajos posteriores a la publicación del artículo de Fearon han elogiado su modelo y han intentado comprobar sus resultados mediante la derivación de hipótesis y el ajuste de datos a pruebas estadísticas clásicas. Eyerman y Hart (1996), por ejemplo, trataron de comprobar el modelo de Fearon utilizando una prueba de Poisson y medidas de democracia como una alternativa a los costos de audiencia. Su interés estaba estrechamente ligado a la Teoría de la paz democrática, que carece, en su opinión, de un mecanismo explicativo convincente. Utilizan el conjunto de datos sobre gestión de conflictos desglosados por fases SHERFACS para comprobar la hipótesis de Fearon, formulada como: «la única manera de comprobar sus hipótesis es observar el comportamiento de las democracias y las

no democracias en las crisis» (EYERMAN; HART, 1996, p. 603). El modelo de Poisson adopta la forma de la ecuación 1:

$$\text{Recuento de fases} = f(\text{democracia conjunta, enemigos, aliados, etnia, territorio, antagonismo}) \quad (1)$$

El objetivo de este trabajo no es reproducir sus hallazgos, sino lo que no han encontrado: cualquier prueba de la existencia de los costos de audiencia. Afirman: «Parece que la dinámica de bloques [...] sirve para facilitar la comunicación. Fearon (1994) sugiere que esta comunicación puede derivarse de los costos de audiencia internacional, además de los costos de audiencia nacional, pero que podrían ser preocupaciones secundarias» (EYERMAN; HART, 1996, p. 611). Eyerman y Hart repiten una afirmación similar en su conclusión, aunque no hayan comprobado los costos de audiencia. Aparentemente, suponen que es la explicación natural que se desprende de los resultados del modelo de Poisson, pero ya que no se derivó de forma directa del modelo de Fearon, se puede cuestionar si el modelo se especificó correctamente para sugerir la existencia de costos de audiencia. Además, como señalan Partell y Palmer (1997, p. 395): «[E]l uso del estatus de Estado democrático es problemático porque los Estados no democráticos también pueden incurrir en costos de audiencia».

Para resolver el defecto del modelo de Eyerman y Hart, Partell y Palmer (1999) usan las restricciones institucionales como alternativas para medir los costos de audiencia. Afirman que «cuanto más limitada

sea la capacidad de un dirigente para implementar políticas por sí mismo, más dependerá de los demás en su posición de autoridad y, por tanto, más probable será que pueda ser destituido si no cumple con sus obligaciones de forma satisfactoria para los demás en el sistema político» (PARTELL y PALMER, 1999, p. 395). Como el modelo de Fearon se basa en una relación principal-agente, en la que los principales son los votantes en las democracias y los generales de alto rango en la mayoría de las dictaduras, parece razonable medir los costos de audiencia de esta manera. No obstante, Partell y Palmer dan por supuesta la existencia de los costos de audiencia y no consiguen argumentar con solidez por qué su aproximación los mide realmente. Una medida de los costos de audiencia estaría más relacionada con el experimento de Tomz (2007), que intenta evaluar la existencia de costos de audiencia con base en encuestas de opinión pública. Si Tomz tiene razón, la existencia de los costos de audiencia puede ser un caso resuelto, pero el cómo generan resultados sigue siendo una incógnita.

La característica común de los trabajos mencionados tiene que ver con la desconexión entre los costos de audiencia y la prueba estadística realizada. Los autores se centran en los resultados del modelo más que en los costos de audiencia, ya que las pruebas que habían diseñado se basaban en datos sobre las fases de una crisis y medidas de democracia (como Polity y Freedom House). Suponen que las democracias implican necesariamente costos de audiencia, sin cuestionar nunca la relevancia de la política exterior para la audiencia.

En términos de precisión metodológica, no hay un argumento sólido para creer que la premisa de los costos de audiencia sea correcta. Como sugieren Gartzke y Lupu:

[E]sta literatura se ocupa principalmente de probar una implicación del modelo de Fearon, es decir, que a las democracias les va mejor en ciertas situaciones de crisis. Sin embargo, esta implicación se basa en gran medida en la suposición de Fearon de que las democracias tienen “audiencias nacionales más fuertes”. Si esta suposición es incorrecta, entonces hay razones para dudar de los procesos específicos planteados en el modelo de Fearon (GARTZKE y LUPU, 2012, p. 393).

En resumen, el modelo de Fearon podría probarse para determinar la existencia y la forma funcional de la relación entre los costos de audiencia y el tiempo. Es tentador aceptar los hallazgos de Tomz (2007), y Gartzke y Lupu (2012) hacen una observación importante sobre la utilidad de los experimentos para desvelar los mecanismos en juego; sin embargo, en el estado actual, el modelo de Fearon solo se ha comprobado en lo que respecta a sus resultados. Sin duda, ninguna de las pruebas realizadas por los autores mencionados se derivó estrictamente del modelo matemático. Utilizaron datos generados en contextos de investigación exógenos e intentaron ajustarlos al modelo matemático. Este procedimiento genera dudas sobre la validez de esas pruebas: los críticos de los modelos de elección racional podrían argumentar que los resultados positivos que corroboran las

premisas de un modelo son justo lo que se podría esperar de una selección sesgada de casos (GREEN y SHAPIRO, 1994). Para evitar tales críticas, se debe comprobar la validez empírica de las premisas de un modelo —lo que significa que hay que comprobar la existencia y comportamiento lineal de la premisa de los costos de audiencia— y derivar un modelo estadístico directamente del matemático.

Diseñar pruebas orientadas a la estructura: el juego de interacción internacional

Modelizar y probar los conflictos internacionales es una ardua tarea que exige la construcción de un juego representativo y la derivación de ecuaciones adecuadas para tender un puente entre las premisas matemáticas y las pruebas estadísticas. Aquí es precisamente donde el planteamiento de Curtis Signorino ofrece una perspectiva distinta sobre la comprobación de modelos. Con base en *War and Reason*, de Bruce Bueno de Mesquita y David Lalman (1992), Signorino intenta proporcionar un esquema matemático-estadístico para probar los modelos teóricos de juegos de interacción estratégica en las Relaciones Internacionales.

Bueno de Mesquita y Lalman (1992) intentaron explicar por qué los Estados libran guerras a sabiendas de que son una empresa costosa y arriesgada. En lugar de abordar el problema a través del prisma de los relatos

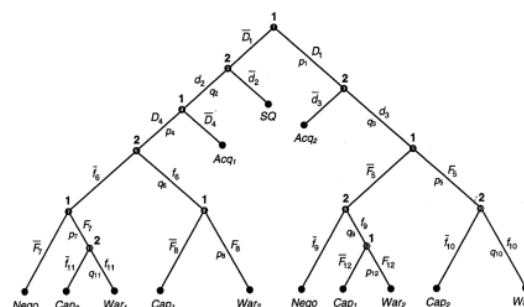
realistas y neorrealistas de las Relaciones Internacionales, recurren a la modelización formal como medio para exponer sus premisas de forma clara, directa e inequívoca (BUENO DE MESQUITA y LALMAN, 1992, p. 21). Además, realizan pruebas estadísticas del modelo y examinan relatos históricos sobre conflictos específicos en su conjunto de datos. Sin embargo, justifican su uso de modelos por la siguiente razón:

Trabajamos con modelos porque creemos que nuestra forma de ver los hechos debe estar determinada por la lógica de nuestras generalizaciones. Estamos profundamente comprometidos con la noción de que las pruebas no pueden ser a la vez fuente de hipótesis y el medio para falsarlas o confirmarlas. Al abordar nuestra tarea analítica desde una perspectiva de modelización, mejoramos la perspectiva de que nuestras proposiciones se deriven de una estructura lógica y deductiva y de que las evaluaciones empíricas se deriven independientemente de la teorización (BUENO DE MESQUITA y LALMAN, 1992, p. 20).

Su modelo adopta la forma teórica de juego representada en la figura 2 (los Estados están representados por los índices 1 y 2). Se construye con base en las premisas fundamentales de la TER: racionalidad, actor unitario y maximización de la utilidad. Al principio, toma la forma de un juego no cooperativo de información perfecta, que se prueba para evaluar la idoneidad de las afirmaciones realistas/neorrealistas de política exterior. Una vez que los datos muestran que estas predicciones no están

respaldadas por la relevancia estadística, Bueno de Mesquita y Lalman comprueban los efectos de los factores internos y descubren una significación estadística fuerte. A continuación, analizan los efectos de las normas y creencias, así como las perspectivas de cooperación.

Figura 2: El juego de Bueno de Mesquita y Lalman



[SQ: statu quo, Acq: aquiescencia Nego: negociación, Cap: capitulación, War: guerra]
Fuente: SIGNORINO, 1999.

Los autores establecen un conjunto de siete supuestos que dan lugar a las utilidades esperadas para cada nodo terminal del modelo. Para cada proposición derivada del modelo, los autores realizan pruebas estadísticas logit. Utilizan datos de relaciones diádicas en Europa entre 1815 y 1970, un total de 707 observaciones calificadas según las características de cada conflicto. Las variables dependientes se codifican con base en su clasificación y se denominan BIGWAR, WAR y STATUSQUO. Sin embargo, su mayor desafío consiste en medir las utilidades, que estiman a través de portafolios de alianzas. Las alianzas, en su opinión, sirven «como una medida de elección revelada de las preferencias nacionales en cuestiones relacionadas con la seguridad», y ellos «suponen que cuanto más similares sean los patrones de elección

revelada de política exterior de dos Estados, menor será la utilidad de cualquier demanda que uno de esos Estados haga al otro, y concomitantemente, menor será la diferencia entre $U_i(\Delta_i)$ y $U_i(\Delta_j)$ » (BUENO DE MESQUITA y LALMAN, 1992, p. 288). La correlación Tau_b de Kendall es el indicador representativo de los portafolios de alianzas en su análisis. No obstante, los autores no tienen datos sobre los costos representados por α , τ y γ (φ se operacionaliza mediante el uso de la fuerza)¹.

La obra de Bueno de Mesquita y Lalman ha sido examinada por Curtis Signorino, quien ha trabajado constantemente en modelos matemático-estadísticos desde la publicación de su artículo en la *American Political Science Review* en 1999. Tales modelos tienden puentes entre la parte matemática del modelo y las pruebas empíricas, a veces extrayendo conocimientos valiosos de simulaciones computacionales (en especial la Montecarlo)² o modelos estadísticos. La esencia del argumento de

Signorino, omnipresente en su obra, es que los modelos formales solo pueden probarse de forma adecuada si las pruebas estadísticas se derivan directamente del propio modelo (BAS, SIGNORINO y WALKER, 2008; SIGNORINO, 1999, 2007; SIGNORINO y YILMAZ, 2003). El desafío de las pruebas empíricas de modelos formales reside precisamente en el hecho de que los investigadores intentan introducir a la fuerza los datos en el modelo, sin tener en cuenta las premisas del modelo ni la teoría que las sustenta (BAS, SIGNORINO y WALKER, 2008). Las pruebas de esta naturaleza no pueden validar ni falsar un modelo, pues falta el puente matemático³. Además, en muchos casos los datos vienen en formas que no se ajustan de forma directa al modelo: es el caso, por ejemplo, de los datos binarios sobre conflictos internacionales, que suelen codificarse como presencia o ausencia de guerra, lo que no es directamente representativo de un juego de interacción (porque el escenario del juego por lo general supone tres resultados posibles: guerra, capitulación y *statu quo*) (BAS; SIGNORINO

1. En el modelo de Buenos de Mesquita y Lalman, representa el costo asumido por el atacado por luchar fuera de casa en una guerra; representa el costo asumido por el objetivo en una guerra; representa el costo asumido por un Estado que se rinde después de ser atacado; y representa el costo político interno asociado con el uso de la fuerza. Los autores detallan estos costos en la premisa 6 de su modelo. Los métodos de Montecarlo consisten en algoritmos computacionales basados en la aleatoriedad que se utilizan para resolver problemas matemáticos en los que son necesarias reiteraciones. La aleatoriedad se introduce artificialmente y suele utilizarse para el muestreo, la estimación y la optimización (KROESE et al., 2014). Las simulaciones de Montecarlo permiten «explorar y comprender el comportamiento de sistemas y datos aleatorios» al realizar «experimentos aleatorios en un ordenador y [observar] los resultados de dichos experimentos» (KROESE et al. 2014, p. 387).

2. Por «puente matemático» me refiero al conjunto de ecuaciones que vinculan la parte matemática del modelo formal y la parte matemática de la prueba estadística.

3. Hay un precio que se debe pagar por utilizar términos de orden superior, que implican derivadas de orden superior. Como señalan Burden y Faires: «Los métodos de Taylor [...] tienen la propiedad deseable de error de truncamiento local de alto orden, pero tienen la desventaja de requerir el cálculo y evaluación de las derivadas», que «es un procedimiento complicado y que lleva mucho tiempo» (BURDEN y FAIRES, 1989, p. 240). Además, es importante tener en cuenta que la diferenciación numérica utilizada para estimar la tasa de cambio de los datos medidos puede exagerar los errores pequeños (FAUSETT, 2003). Signorino y Yilmaz (2003) superaron estratégicamente este problema en su modelo al mantener los parámetros lineales, lo que redirige los efectos de las no linealidades solo a los regresores X.

y WALKER, 2008; SIGNORINO y YILMAZ, 2003). Según Signorino (1999), la investigación sobre conflictos armados se basa automáticamente en los modelos logit y probit para probar modelos formales. Él no está de acuerdo con este enfoque, ya que la interacción estratégica implica no linealidades y procesos que no se captan mediante la aplicación directa de las pruebas estadísticas mencionadas. Como sugiere Signorino:

[S]i algo nos ha enseñado la teoría de juegos es que el resultado probable de estas situaciones puede verse muy afectado por la secuencia de movimientos de los jugadores, las opciones y la información de que disponen y los incentivos que tienen. En resumen, en la interacción estratégica, la estructura importa. Debido a este énfasis en la explicación causal y la interacción estratégica, cabría esperar que los métodos estadísticos utilizados para analizar las teorías de las relaciones internacionales también tuvieran en cuenta la estructura de la interdependencia estratégica. Pero este no es el caso (SIGNORINO, 1999, p. 279).

Las interacciones que implica el juego de estrategia están impregnadas de incertidumbres y subjuegos que no son captados por la estructura formal de una forma funcional logit (SIGNORINO, 1999, 2003; SIGNORINO y YILMAZ, 2003). La aplicación directa del logit resulta en una pérdida de información sobre los pasos importantes del juego de interacción, por no hablar de las fuentes de incertidumbre a las que se enfrentan los jugadores o el

investigador. Además, la aplicación directa de modelos estadísticos sin los ajustes adecuados reduce el juego de estrategia a un escenario diádico, ya sea por el lado de los resultados (como se mencionó antes) o por el del número de jugadores involucrados en el juego (SIGNORINO, 1999). Esto es más bien un problema matemático de incompatibilidad entre las pruebas estadísticas lineales y la interacción estratégica no lineal, una especificación errónea que es común en gran parte de la literatura sobre ciencias políticas y RR. II. (SIGNORINO y YILMAZ, 2003; SIGNORINO y TARAR, 2006). En resumen:

[T]al y como se aplican, los supuestos de independencia de los modelos estadísticos son a menudo incoherentes con los supuestos de interdependencia estratégica de las teorías. De hecho, estas críticas se aplican no solo a los análisis de los conflictos internacionales, sino también a los análisis logit y probit de cualquier fenómeno que implique una interacción estratégica en las relaciones internacionales, la política comparada o la política estadounidense. Debido a esto, deberíamos esperar [...] que el análisis logit de la interacción estratégica pueda producir estimaciones de parámetros con interpretaciones sustantivas erróneas: los valores ajustados y las predicciones de las probabilidades de resultado pueden ser muy incorrectos, al igual que los cálculos de los efectos de las variables sobre los cambios en las probabilidades de resultado (SIGNORINO, 1999, p. 280)

La lógica estándar para la comprobación de modelos se basa fundamentalmente en el principio de linealidad. En términos matemáticos, la linealidad implica los principios de aditividad y homogeneidad, expresados a continuación en las ecuaciones 2 y 3 respectivamente, donde c es una constante.

$$f(a+b)=f(a)+f(b) \quad (2)$$

$$f(k * a) = k * f(a) \quad (3)$$

Juntas, la aditividad y la homogeneidad constituyen el principio de superposición del álgebra lineal. Gracias a la superposición, los efectos de distintas variables independientes pueden computarse independientemente con respecto a una variable dependiente. En ingeniería estructural, por ejemplo, para desplazamientos infinitesimales se puede aplicar el principio de superposición y calcular por separado los efectos de torsión, flexión y cizalladura causados por una carga dada, y luego calcular la tensión total en puntos de interés de la estructura con solo sumar los valores de cada efecto por separado en ese punto (BEER et al., 2014; BOWER, 2009). Por lo tanto, la linealidad desacopla los efectos que resultan de las interacciones entre variables, porque supone que las variables son independientes y no se afectan entre sí.

Por seductora que resulte, la linealidad se ha convertido en el enfoque estándar de las ciencias políticas y las RR. II. La regresión lineal clásica, por ejemplo, adopta la forma funcional expresada en la ecuación 4, donde X es la matriz de regresores,

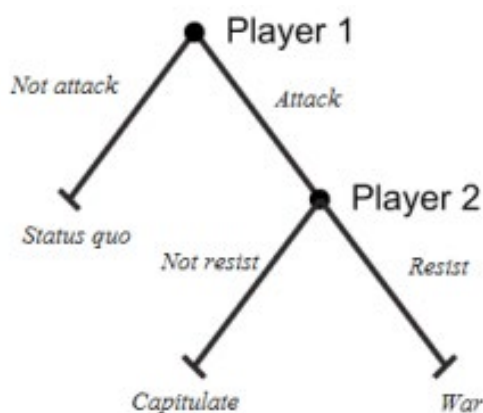
β es el vector de parámetros lineales y ϵ es la matriz de variables de error.

$$y = X \beta + \epsilon \quad (4)$$

$$\text{Donde: } y=[y_1 \ y_2 : y_n], \beta=[\beta_1 \ \beta_2 : \beta_n], \epsilon=[\epsilon_1 \ \epsilon_2 : \epsilon_n] \text{ y } X=[1 \ X_{11} \dots X_{1j} \ 1 \ X_{21} \dots X_{2j} : \dots X \ 1 \ X_{n1} \dots X_{nj}] \quad (5)$$

No obstante, el principio de linealidad que implican estos modelos estadísticos no consigue captar los efectos de la dependencia entre cada paso de un juego de interacción ni las incertidumbres del proceso de toma de decisiones (SIGNORINO, 2003; SIGNORINO y YILMAZ, 2003). Cada rama del árbol de juego —incluso la del *statu quo*— depende del nodo anterior, y por tanto no se puede suponer que haya independencia entre las decisiones sin distorsionar el escenario de juego. El jugador 2 toma una decisión con base en la del jugador 1, lo que implica una secuencia de jugadas dependientes, como se muestra en la figura 3.

Figura 3: Árbol del juego de interacción secuencial



[Jugador 1, No atacar, Atacar, Statu quo, Jugador 2, No resistir, Resistir, Capitular, Guerra]

Fuente: Diseño del autor, 2019.

La pregunta es cómo derivar el modelo estadístico al tiempo que se preservan las premisas y la estructura del modelo formal. Signorino y sus colegas han trabajado constantemente en este asunto y han propuesto diversas aproximaciones para resolver el problema de la derivación. Uno de los desafíos principales consiste en representar el nivel de incertidumbre que conlleva cada paso del árbol de juego. Un modelo adecuado debe ser capaz de representar los casos extremos (información perfecta e incertidumbre absoluta), así como los casos intermedios.

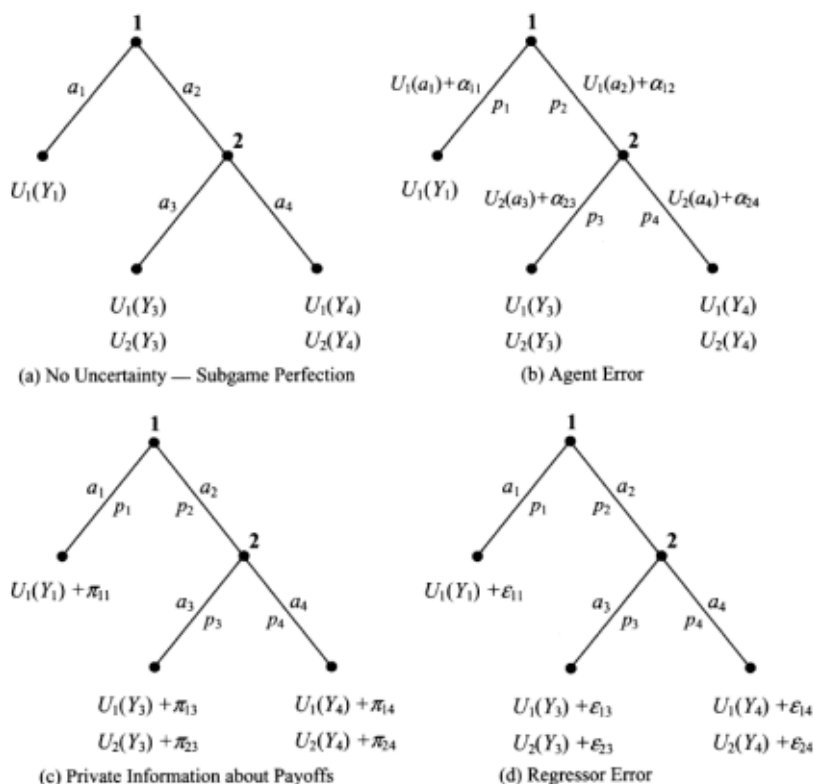
Signorino y sus colegas trabajan ampliamente con modelos logit y probit, ajustándolos al modelo formal de la interacción estratégica. Ambos modelos trabajan con datos categóricos binarios (guerra, no guerra; casado, no casado, etc.) y están relacionados con el modelo de regresión. En sus obras, Signorino expresa las funciones de utilidad de cada jugador en cada rama (ya sea en el nodo final o en la propia rama) del árbol de juego mediante regresión, añadiendo variables de error que corresponden a distintos supuestos teóricos. El siguiente paso consiste en introducir estas funciones de utilidad en los modelos mencionados. El modelo logit $[F(x)]$ implementa la regresión mediante el término Y (la forma de regresión expresada en la ecuación 4) en la ecuación 6, mientras que el probit $[Pr(Y=1|X)]$ lo hace a través de la ecuación 7, donde Φ es la distribución normal acumulativa.

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-Y}} \quad (6)$$

$$Pr Pr (Y=1|X) = \Phi(X^T \beta) \quad (7)$$

En el modelo de interacción estratégica se asignan funciones de utilidad a cada jugador en función de cada posible resultado del juego. Hay un componente de la función de utilidad que es observable y este es precisamente sobre el que hay que aplicar la regresión (SIGNORINO, 2003). Si el modelo supone incertidumbre, debe implementarse según la fuente de esa incertidumbre. Signorino (2003) define tres fuentes de incertidumbre: el error del agente, que supone que los jugadores tienen una racionalidad limitada y perciben erróneamente las utilidades de otros jugadores o que toman decisiones equivocadas; la información privada sobre los resultados, lo que significa que un jugador solo conoce la distribución de la verdadera utilidad de los demás; y el error del regresor, que refleja más bien la incapacidad del analista para modelizar las utilidades de los jugadores con las variables explicativas a su disposición. La figura 4 (que se presenta a continuación) representa cómo se implementan las funciones de utilidad en cada modelo.

Figura 4: Implementación de modelos de elección discreta



[(a) Ninguna incertidumbre — Perfección en subjugos (b) Error del agente
(c) Información privada sobre los resultados (d) Error del regresor]

Fuente: SIGNORINO, 2003. $U_i(Y_k)$ representa las utilidades observadas de cada jugador; α_{ik} , que es el término para el error del agente, se implementa en cada rama de acción; π_{ik} representa la distribución de información privada sobre los resultados de un jugador; por último, ε_{ik} representa el error del regresor causado por la incapacidad del analista para observar los resultados de los jugadores.

Las funciones de utilidad en cada juego especifican la fuente de incertidumbre para cada caso. Con base en el ejemplo del error del regresor (caso d), exploraré a continuación la forma en que Signorino (2003) deriva su modelo. La función de utilidad está representada por la ecuación 8 y el equilibrio perfecto en subjugos viene dado por la ecuación 9.

$$U_m^*(Y_k) = U_m(Y_k) + \varepsilon_{mk} \quad (8)$$

$$y = \{Y_1 \text{ si } U_2^*(Y_3) > U_2^*(Y_4) \text{ y } U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_3) \text{ o si } U_2^*(Y_4) > U_2^*(Y_3) \text{ y } U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_4) \text{ } Y_3 \text{ si } U_2^*(Y_3) > U_2^*(Y_4) \text{ y } U_1^*(Y_3) > U_1^*(Y_1) \text{ } Y_4 \text{ si } U_2^*(Y_4) > U_2^*(Y_3) \text{ o } U_1^*(Y_4) > U_1^*(Y_1) \text{ o } U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_3) \text{ o } U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_4)\} \quad (9)$$

Cabe recordar que, en el modelo regresor, el analista no observa las verdaderas utilidades y solo es capaz de hacer afirmaciones probabilísticas sobre los resultados. Según Signorino (2003), la probabilidad del resultado viene dada por la ecuación 10, que es la suma de las probabilidades recogidas por la conjunción «o».

$$p_{Y_1} = Pr[U_2^*(Y_3) > U_2^*(Y_4), U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_3)] + Pr[U_2^*(Y_4) > U_2^*(Y_3), U_1^*(Y_1) > U_1^*(Y_4)] \quad (10)$$

La ecuación 10 puede aclararse aún más al sustituir cada término U_{ij}^* por su versión correspondiente de la ecuación 9, con lo que se obtiene la ecuación 11.

$$p_{Y_1} = Pr[U_2(Y_3) + \varepsilon_{23} > U_2(Y_4) + \varepsilon_{24}, U_1(Y_1) + \varepsilon_{11} > U_1(Y_3) + \varepsilon_{13}] + Pr[U_2(Y_4) + \varepsilon_{24} > U_2(Y_3) + \varepsilon_{23}, U_1(Y_1) + \varepsilon_{11} > U_1(Y_4) + \varepsilon_{14}] \quad (11)$$

Para resolver computacionalmente la ecuación 11, hay que convertirla en integrales sobre densidades normales bivariantes. Signorino lo hace al denotar la varianza de ε_{ij} como $\sigma_{\varepsilon_{ij}}^2$ y su covarianza con ε_{ijk} como $\sigma_{\varepsilon_{ijk}}$; además, $\eta_{ijk} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ik}$. La ecuación 11, después de reorganizar un poco los términos entre corchetes, se convierte en la ecuación 12, que puede resolverse numéricamente mediante una rutina computacional adecuada.

$$p_{Y_1} = \int_{-\infty}^{U_2(Y_3)-U_2(Y_4)} \int_{-\infty}^{U_1(Y_1)-U_1(Y_3)} \Phi(\eta_{243}, \eta_{131}) d\eta_{131} d\eta_{243} + \int_{-\infty}^{U_2(Y_4)-U_2(Y_3)} \int_{-\infty}^{U_1(Y_1)-U_1(Y_4)} \Phi(\eta_{234}, \eta_{141}) d\eta_{141} d\eta_{234} \quad (12)$$

Esta derivación especifica el juego de estrategia representado en la figura 4d. Como puede verse, el trabajo matemático se vio facilitado por la estructura simple del juego, que permitió una especificación directa de las condiciones de equilibrio perfecto en subjuegos. Sin embargo, como sugiere Signorino: «[L]a complejidad del juego subyacente afectará a la dimensionalidad de la integración requerida para las probabilidades de equilibrio» (SIGNORINO, 2003, p. 335). Una dimensionalidad más alta implica más potencia de cálculo, lo que puede llevar mucho tiempo y resultar demasiado laborioso. En

este sentido, hay que tener mucho cuidado con la modelización para asegurarse de que el modelo final pueda resolverse.

Cabe señalar que estos modelos no se limitan a una única fuente de incertidumbre. En otras palabras, es posible modelizar conjuntamente el error del agente, la información privada y el error del regresor, aunque esto complicaría más el modelo. Sin embargo, la cuestión aquí consiste en entender el proceso de derivación de un modelo estadístico a partir de uno formal. Los procedimientos matemáticos seguidos por Signorino (2003) traducen la teoría en el modelo y ahí es

precisamente donde su argumento contribuye al debate de si los modelos formales son comprobables o no. En sus palabras:

En general, para variables dependientes discretas o continuas, se obtiene un modelo estadístico a partir de un modelo teórico siguiendo los mismos pasos generales: (1) especificar el modelo teórico de elección, (2) añadir un componente aleatorio (es decir, una fuente de incertidumbre) si no existe, (3) derivar el modelo de probabilidad asociado a la variable dependiente y (4) construir una ecuación de probabilidad basada en ese modelo de probabilidad. (SIGNORINO, 2003, p. 318).

Evidentemente, elaborar un modelo estadístico requiere definir más supuestos matemáticos, sobre los que el modelo formal guarda bastante silencio. Por ejemplo, es común suponer que los errores se distribuyen normalmente. Esto no es un defecto de este modelo específico en sí, ya que la distribución normal se aplica ampliamente en casi todas las ciencias. La cuestión aquí es que los modelos formales y estadísticos están conectados a través de la teoría, y es esta la brújula para traducir las premisas de un modelo formal en una prueba estadística viable y coherente (BAS; SIGNORINO y WALKER, 2008; SIGNORINO, 2003).

Otra cuestión de gran interés se refiere a los efectos de las no linealidades. Sin duda alguna, se han observado fenómenos no lineales en la naturaleza desde la antigüedad. La turbulencia es quizás el fenómeno más conocido y cualquiera que haya viajado en avión ha sentido los efectos

de un flujo turbulento. Los torbellinos y remolinos son rasgos característicos de la turbulencia y perturban el flujo de un fluido de forma irreversible. La turbulencia consiste en un movimiento intrínsecamente desordenado, causado por pequeñas perturbaciones en el flujo. Los cambios de velocidad o presión pueden generar un flujo turbulento, que se intensifica y propaga a medida que pasa el tiempo. Del mismo modo, el ruido y las no linealidades perturban con frecuencia los fenómenos políticos, y gran parte de nuestra explicación trata de otorgar significado a estas complicadas características de la vida política. Es el caso del juego de interacción estratégica, cuyas no linealidades radican precisamente en incertidumbres.

Superar los aspectos no lineales intrínsecos de la realidad no es tarea fácil y la corriente dominante en las RR. II. prefiere elegir modelos lineales para abordar sus objetos de investigación. Signorino y Yilmaz proponen un enfoque alternativo basado en un procedimiento muy común en física e ingeniería para derivar funciones: la expansión en series de Taylor. Una función de una o más variables puede expresarse mediante una suma infinita de términos en orden creciente, lo que resulta útil para abordar problemas físicos como la derivación de las ecuaciones para el campo de presión. Las series de Taylor también son útiles para analizar errores en los métodos de aproximación (BURDEN y FAIRES, 1989). La expansión en series está representada por la ecuación 13 en su forma original, que se basa en el teorema de Taylor.

$$f(x) = P_n(x) + R_n(x) \quad (13)$$

Donde:

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n \frac{f^{(k)}(x_0)}{k!} (x - x_0)^k, \text{ y } R_n(x) = \frac{f^{(n+1)}(\xi(x))}{(n+1)!} (x - x_0)^{n+1}$$

$P_n(x)$ es el n -ésimo polinomio de Taylor para f alrededor de x_0 y $R_n(x)$ es el término restante asociado con el error de expandir $f(x)$ en términos de $P_n(x)$. $R_n(x)$ también se conoce como el error de truncamiento y mide el error que supone truncar la expansión infinita en un punto finito, es decir, expandiendo hasta un cierto término de orden superior. A medida que $n \rightarrow \infty$, el error disminuye.

Signorino y Yilmaz (2003) utilizaron series de Taylor precisamente para tener en cuenta los fenómenos no lineales (mediante términos de orden superior) en su juego de interacción estratégica⁴. Lo hicieron aplicando la expansión en series a un modelo de regresión y reorganizando los términos como una función lineal de sus parámetros β . Esta elegante solución es teóricamente más coherente y los resultados que produce a través de simulaciones de Montecarlo parecen más convincentes que los generados por el modelo logit.

A pesar de su coherencia matemático-estadística, algunos han considerado al modelo de interacción estratégica como

uno muy complicado, cuyos resultados pueden conseguirse con herramientas menos sofisticadas. Carrubba, Yuen y Zorn (2007a, 2007b) cuestionaron la aproximación estocástica de Signorino a la toma de decisiones estratégicas y propusieron volver a la estática comparativa y a las pruebas estándares logit y probit. Están de acuerdo con el argumento de Signorino de prestar especial atención a la traducción de las premisas de un modelo formal en una prueba empírica. Según ellos:

El comportamiento estratégico dará lugar a complejas relaciones paramétricas y, como resultado, incluir simplemente una lista de covariables en un logit de forma lineal es casi con toda seguridad un error fatal de especificación de la teoría. Cualquier prueba bien diseñada de una teoría estratégica debe implicar una operacionalización precisa de las predicciones derivadas con exactitud (CARRUBBA, YUEN y ZORN, 2007a, p. 466).

Lo que se puede aprender del desacuerdo entre Carrubba et al. (2007a, 2007b) y Signorino (2007) es que se pueden usar distintos modelos estadísticos para probar un modelo formal, siempre y cuando se deriven adecuadamente de este último. Además, se puede sacar ventaja del hecho de que los modelos se basan en

4. Del modelo de Signorino y Yilmaz basado en series de Taylor se obtiene la ecuación 14:
 $y^* = 3 + 1313X13 + 1314X14 + 2324X24 + R + \varepsilon \quad (14)$
 Donde: $R = -136X132132 - 136X142142 - 19X242242 - 118X13X141314 - 19X13X241324 + 29X14X241424 + 3$.

las matemáticas para establecer los límites dentro de los cuales son aplicables. El argumento de Signorino va en esta línea:

[A]unque los modelos deterministas pueden, en determinadas condiciones, aproximarse a las relaciones de los modelos con incertidumbre, en muchas otras situaciones las predicciones serán muy diferentes. Si el modelo teórico de uno incluye incertidumbre (por ejemplo, información privada o error del agente), entonces las condiciones de equilibrio deben derivarse basándose en la incertidumbre presupuesta. De hecho, ese era uno de los puntos de Signorino (2003). Si se desea llevar a cabo un análisis de estática comparativa, debe hacerse basándose en las condiciones de equilibrio del modelo teórico con incertidumbre. Del mismo modo, la derivación de un estimador, las implicaciones observables o las ideas para la especificación del modelo deberían basarse en las condiciones de equilibrio del modelo con incertidumbre (SIGNORINO, 2007, p. 494).

La última pregunta relacionada con el juego de interacción estratégica y las perspectivas de hacer pruebas empíricas surge naturalmente del debate entre Carrubba y Signorino: ¿cómo elige un investigador entre modelos rivales? Afortunadamente, en el ámbito académico han estado trabajando recientemente en pruebas viables para comparar las predicciones generadas por modelos rivales. Clarke (2003, 2007) y Clarke y Signorino (2010) han obtenido resultados preliminares con sus pruebas para modelos de elección discreta no anidados, pero reconocen que es necesario seguir investigando.

Evaluación: ¿hacia la modelización estructural en las RR. II.?

He explorado dos modelos de negociación internacional que habían cobrado importancia en la literatura reciente: el modelo de costos de audiencia de Fearon y el juego de interacción estratégica de Signorino. Cada modelo implica lógicas diferentes a la hora de utilizar las estadísticas como medio para comprobar sus premisas y resultados. La investigación sobre costos de audiencia se ha centrado sobre todo en los resultados del juego de la crisis internacional, dando por supuesta la premisa de Fearon sobre los costos de audiencia. Signorino deriva sus modelos directamente del escenario del juego para dar cuenta de aspectos matemáticos tales como la no monotonicidad y las no linealidades, al realizar simulaciones y pruebas estadísticas para comprobar la validez de sus modelos.

El enfoque estándar de la comprobación de modelos en las RR. II. sigue las líneas de la literatura sobre costos de audiencia. Aunque este enfoque puede dar lugar a pruebas fructíferas, no aborda adecuadamente las críticas del sesgo de selección y la comprobación de modelos. Es cierto que las pruebas estadísticas basadas en datos ajenos al modelo formal pueden clarificar ciertos resultados del modelo formal, pero la naturaleza de la prueba podría no ser adecuada para validar sus resultados. A lo que me refiero por naturaleza es a la construcción matemática del modelo estadístico: debe corresponder de

algún modo a las premisas del modelo formal original, ya que los teoremas, lemas y proposiciones del modelo matemático están estrechamente ligados a sus premisas. Comprobar los resultados podría dejar sin respuesta cuestiones cruciales, como se señaló en el caso del modelo de Fearon.

En este sentido, el esfuerzo de Signorino parece abordar la cuestión de la comprobación de modelos de una manera más coherente. Al derivar un modelo estadístico directamente de las premisas del modelo formal, se puede estar seguro de la validez de la prueba una vez que se confronta con los datos empíricos. Evidentemente, tales derivaciones requieren cierto grado de manipulación matemática, debido a que muchos modelos formales se diseñan sin considerar los aspectos empíricos. En este proceso, es posible que se necesiten más premisas, y tener un entendimiento sólido de los conceptos matemáticos será de gran utilidad. Además, hay que tener en cuenta las dificultades de la linealidad, especialmente cuando se sabe que están presentes en el fenómeno observado. Como sugerí en otro trabajo:

A pesar de la tentación de confiar en la linealidad, los fenómenos del mundo real están impregnados de efectos no lineales. Nuestro cerebro está programado para pensar en términos de relaciones lineales y prefiere los modelos en los que las variables se comportan de forma más o menos lineal a aquellos en los que las variables siguen trayectorias no lineales. Sin embargo, la naturaleza y la sociedad muestran una variedad de fenómenos que no siguen los principios de la linealidad. La turbulencia, la propagación

de fracturas, la combustión y la escalada de conflictos son sólo algunos ejemplos de no linealidad (LENINE, 2018, p. 93).

Por este motivo, puede que los académicos de las RR. II. tengan que representar fenómenos no lineales en sus modelos siguiendo enfoques similares al tratamiento de la incertidumbre de Signorino. No incluir las no linealidades en un modelo podría afectar su poder explicativo, más específicamente a la hora de someterlo a una prueba estadística. Como hemos aprendido, la estructura importa, y no representar adecuadamente la estructura de un modelo puede generar resultados incorrectos e imprecisos, o incluso resultados que se restringen a ciertos límites en los que la linealidad puede suponerse.

También es importante señalar que los modelos de negociación de Signorino son más generales que los de Fearon, porque abordan la interacción estratégica de cualquier tipo. La negociación no solo tiene lugar en el ámbito internacional, sino prácticamente en todos los campos de la vida política, social y económica. Asimismo, al reconocer la existencia del comportamiento no lineal y de la no monotonía, Signorino nos muestra la brecha representacional entre el modelo formal y la prueba estadística. Dicha brecha podría tener efectos perjudiciales en los resultados de la prueba, dando lugar a conclusiones poco convincentes. Al llamar nuestra atención sobre el problema del error de especificación, Signorino demuestra lo fundamental que es tender un puente matemáticamente coherente entre el modelo y la prueba.

Por último, Rein Taagepera (2008) propone otro enfoque con el que tanto los politólogos como los académicos de las RR. II. están menos familiarizados. Taagepera recomienda a los académicos que extrapolen de la clásica ecuación de regresión lineal y busquen funciones basadas en condiciones de contorno y consideraciones lógicas. En términos matemáticos, puede dar lugar a la expresión del fenómeno observado por medio de ecuaciones diferenciales, como en el modelo de carrera armamentista de Richardson. Resolver ecuaciones diferenciales da lugar a formas funcionales que respetan las condiciones iniciales y de contorno, y la función resultante suele ser no lineal. No obstante, las matemáticas básicas no bastan para abordar tales ecuaciones y se necesitaría una formación específica para modelizar fenómenos de esta manera. Los resultados, sin embargo, aclararían la comprensión de los conflictos internacionales, ya que los académicos de las RR. II. reflexionarían acerca de las premisas que deberían considerarse en cada situación de una forma orientada al fenómeno, en lugar de ajustar automáticamente los datos recopilados en el mundo real a una prueba estadística.

Conclusión

A lo largo de este artículo, examiné los aspectos matemáticos que subyacen a dos enfoques para probar modelos formales, intentando responder a la pregunta de cómo deberían combinarse las matemáticas y la estadística para proporcionar pruebas válidas y firmes. Plantee

cuestiones sobre el carácter representacional de las pruebas de modelos formales, argumentando que la validez está teórica y metodológicamente ligada a la derivación estructural de las pruebas estadísticas.

La sabiduría convencional en la mayoría de las RR. II. recomienda probar un modelo en función de sus resultados. Las hipótesis se derivan de proposiciones y teoremas, y se comprueban mediante métodos estadísticos. Sin embargo, suele perderse información en este proceso, ya que los métodos estadísticos están estandarizados, lo que significa que no representan la estructura matemática del modelo formal. Al recurrir a la derivación estructural, se pueden resolver las limitaciones impuestas por la prueba estándar mientras se respetan las premisas y las fases que implica el modelo matemático. En el caso particular de los juegos de conflictos internacionales con ramas de subjuegos, tender un puente entre las matemáticas y la estadística es fundamental para probar firmemente el modelo.

Referencias

- Bas, M. A., Signorino, C. S., & Walker, R. W. (2008). Statistical backwards induction: A simple method for estimating recursive strategic models. *Political Analysis*, 16(1), 21-40.
- Beer, F. Jr., Johnston, E. R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2014). *Mechanics of materials*. McGraw-Hill Education.
- Bower, A. (2009). *Applied mechanics of solids*. CRC Press.
- Bueno de Mesquita, B., & Lalman, D. (1992). *War and reason: Domestic*

- and international imperatives. Yale University Press.
- Burden, R. L., & Faires, J. D. (1989). Numerical analysis. PWS-Kent Publishing Company.
- Carrubba, C. J., Yuen, A., & Zorn, C. (2007a). In defense of comparative statics: Specifying empirical tests of models of strategic interaction. *Political Analysis*, 15(4), 465-482.
- Carrubba, C. J., Yuen, A., & Zorn, C. (2007b). Reply to Signorino. *Political Analysis*, 15(4), 502-504.
- Clarke, K. A. (2003). Nonparametric model discrimination in international relations. *Journal of Conflict Resolution*, 47(1), 72-93.
- Clarke, K. A. (2007). A simple distribution-free test for nonnested hypotheses. *Political Analysis*, 15(3), 347-363.
- Clarke, K. A., & Signorino, C. S. (2010). Discriminating methods: Tests for non-nested discrete choice models. *Political Studies*, 58(2), 368-388.
- Eyerman, J., & Hart, R. A. Jr. (1996). An empirical test of the audience cost proposition. *Journal of Conflict Resolution*, 40(4), 597-616.
- Fausett, L. V. (2003). Numerical methods: Algorithms and applications. Pearson Education.
- Fearon, J. D. (1994). Domestic political audiences and the escalation of international disputes. *American Political Science Review*, 88(3), 577-592.
- Gartzke, E., & Lupu, Y. (2012). Still looking for audience costs. *Security Studies*, 21(3), 391-397.
- Green, D., & Shapiro, I. (1994). Pathologies of rational choice theory. Yale University Press.
- Keohane, R. O., & Nye, J. S. Jr. (2011). Power and interdependence: World politics in transition (4th ed.). Longman.
- Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Computational Statistics*, 6(6), 386-392.
- Lenine, E. (2018). Models, explanation, and the pitfalls of empirical testing. *Estudos Internacionais*, 6(3), 82-97.
- Morgenthau, H. (2003). Política entre as nações (7ª ed.). Editora da Universidade de Brasília.
- Partell, P. J., & Palmer, G. (1999). Audience costs and interstate crises: An empirical assessment of Fearon's model of dispute outcomes. *International Studies Quarterly*, 43(2), 389-405.
- Richardson, L. F. (1960). Arms and insecurity. Quadrangle Books.
- Schelling, T. C. (1960). The strategy of conflict. Harvard University Press.
- Signorino, C. S. (1999). Strategic interaction and the statistical analysis of international conflict. *American Political Science Review*, 93(2), 279-297.
- Signorino, C. S. (2003). Structure and uncertainty in discrete choice models. *Political Analysis*, 11(4), 316-344.
- Signorino, C. S., & Yilmaz, K. (2003). Strategic misspecification in regression models. *American Journal of Political Science*, 47(3), 551-566.

Signorino, C. S., & Tarar, A. (2006). A unified theory and test of extended immediate deterrence. *American Journal of Political Science*, 50(3), 586-605.

Signorino, C. S. (2007). On formal theory and statistical methods: A response to Carrubba, Yuen and Zorn. *Political Analysis*, 15(4), 483-501.

Taagepera, R. (2008). Making social sciences more scientific: The need for predictive models. Oxford University Press.

Tomz, M. (2007). Domestic audience costs in international relations: An experimental approach. *International Organization*, 61(4), 821-840.

AINKAA 