



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Anexo I
Estructura de Presentación de Propuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad Politécnica

**CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN

PERFIL DEL PROYECTO

1. Título del Proyecto. Investigador/a Principal y Coinvestigadores: Sorteo de Castigadores en juegos espaciales de bienes públicos opcional

Investigador/a Principal y Coinvestigadores:

- Investigador en Formación: Lic. Diego David Delpino Miño
- Investigador Asociado: DSc. Christian Emilio Schaerer Serra
- Investigadora Principal: DSc. Magdalena Del Rocío Botta Solano López

2. Resumen del proyecto

Los dilemas sociales, donde los intereses individuales afectan el bienestar de la población, han sido objeto de estudio por diversas disciplinas, en el contexto de los Juegos de Bienes Públicos han sido ampliamente utilizados como modelos abstractos para estudiar la cooperación en poblaciones que enfrentan dilemas sociales. En este tipo de juego, cada jugador debe decidir si contribuir (cooperar) a un bien común o beneficiarse de él sin contribuir (desertar). Sin embargo, este esquema simple se vuelve más complejo con la inclusión de estrategias adicionales, como la opción de abstenerse de participar (la estrategia del loner), lo que refleja con mayor precisión ciertos comportamientos observados en contextos sociales y biológicos. La cooperación en estos entornos suele



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

verse amenazada por el fenómeno del free-riding, en el cual los individuos que no contribuyen obtienen beneficios mayores que quienes sí lo hacen. Para contrarrestar esta tendencia, se han propuesto diversos mecanismos de sanción que promueven la cooperación mediante el castigo a los desertores. Estos mecanismos incluyen el castigo descentralizado (también conocido como peer punishment) y el castigo centralizado (pool punishment), los cuales pueden influir notablemente en la persistencia o declive de la cooperación dentro del sistema.

Este trabajo profundiza en el estudio del peer punishment en un entorno espacial basado en cuadrículas bidimensionales, empleando un modelo basado en agentes. A diferencia de enfoques anteriores donde los castigos se aplicaban de forma determinista, aquí se introduce un elemento probabilístico mediante una variable aleatoria de Bernoulli que determina si un cooperador actuará como castigador en cada ronda del juego. Esta modificación permite un modelado más matizado de la variabilidad conductual y posibilita explorar sus efectos sobre la estabilidad de la cooperación. Inspirado en arreglos institucionales que distribuyen equitativamente responsabilidades, el modelo incluye un esquema de castigo probabilístico en el cual solo un subconjunto aleatorio de los cooperadores aplica sanciones en cada ronda. Este enfoque captura de forma más realista la heterogeneidad conductual, reduce el costo global del castigo y representa mecanismos que reparten la carga de hacer cumplir las normas, mejorando así la sostenibilidad de la cooperación. La principal contribución de este trabajo es el análisis del efecto de la probabilidad de castigo sobre la evolución de estrategias en juegos espaciales de bienes públicos con opción de abstención. A través de simulaciones numéricas en cuadrículas basadas en agentes y mediante diagramas de red y simplex, se investiga cómo distintas configuraciones del parámetro P_0 (probabilidad de castigo) afectan el equilibrio entre cooperadores, desertores y loners. Los resultados muestran la existencia de un umbral para valores muy pequeño se mantiene un comportamiento cíclico entre los agentes, así como rangos de valores un poco más elevados pero lo suficientemente bajos de castigo probabilístico son suficientes para incentivar la cooperación en el sistema.

3. Área y especialidad de la propuesta

Esta propuesta se alinea con el Eje **Estratégico 1: Generación de conocimiento** de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI), al aportar nuevos enfoques teóricos y



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

computacionales en el campo de la economía conductual, específicamente en la comprensión de los incentivos que sostienen la cooperación en la provisión de bienes públicos. El modelo de castigo probabilístico propuesto permite explorar configuraciones más eficientes y sostenibles, lo que puede servir como base para diseñar mecanismos institucionales o intervenciones públicas en entornos con recursos colectivos limitados. Contribuye al **Eje Estratégico 2: Uso del conocimiento para el desarrollo económico y social**, al generar evidencia útil para políticas públicas enfocadas en la gestión eficiente de recursos, la reducción de desigualdades y el fortalecimiento del capital social, factores clave para un desarrollo económico inclusivo y sostenible. En el marco del **Eje Estratégico 1: Reducción de la pobreza y desarrollo social del Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030**, que busca garantizar un desarrollo social equitativo y brindar servicios sociales de calidad, también se alinea con la Línea **Transversal B: Gestión pública eficiente y transparente**, la cual promueve la implementación de políticas públicas basadas en evidencia y orientadas a resultados.

La investigación se fundamenta en la necesidad de comprender y promover mecanismos que fomenten la cooperación en contextos sociales, especialmente en la gestión de bienes públicos. A través de simulaciones de juegos de bienes públicos con castigo probabilístico —donde se selecciona aleatoriamente un castigador con baja probabilidad—, se busca analizar cómo esta dinámica afecta a las diferentes estrategias y cómo la sanción puede influir en la sostenibilidad de la cooperación entre individuos. Este enfoque permite explorar procesos que reflejan comportamientos observados en comunidades reales, donde la equidad y la eficiencia en la gestión de recursos compartidos son fundamentales, el proyecto contribuye al cumplimiento del **Objetivo de Desarrollo Sostenible 1: Fin de la pobreza**, en particular la **Meta 1.a**, que insta a *"Garantizar una movilización significativa de recursos procedentes de diversas fuentes, incluso mediante la mejora de la cooperación para el desarrollo, a fin de proporcionar medios suficientes y previsibles para los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, para poner en práctica programas y políticas encaminados a poner fin a la pobreza en todas sus dimensiones"*. Al proporcionar herramientas analíticas que apoyen la formulación de políticas públicas más efectivas, se promueve la movilización y asignación eficiente de recursos destinados a la reducción de la pobreza, por último la propuesta contribuye al cumplimiento del **Objetivo Estratégico 11** del Plan Estratégico Institucional (PEI) de la Facultad Politécnica: *"Fortalecer programas y líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I)"*, mediante el desarrollo de una línea en teoría de juegos evolutivos y evolución de la cooperación, con potencial de continuidad en el modelado de sistemas sociales. Finalmente, se vincula con el **Objetivo Estratégico 13**: *"Fortalecer los sistemas de divulgación científica"*, al prever la difusión de resultados mediante gráficos, simulaciones y



análisis que podrán presentarse en jornadas científicas, publicaciones o actividades académicas promovidas por la Facultad.

5. Objetivos del proyecto

Objetivo general:

Analizar el efecto de la introducción de un mecanismo de castigo probabilístico, basado en sorteo, sobre la frecuencia de la cooperación en juegos espaciales de bienes públicos opcional.

Objetivos específicos:

- a) Comparar los resultados evolutivos entre el juego de bienes públicos opcional sin castigo y el modelo que incorpora el castigo probabilístico por parte de cooperadores seleccionados aleatoriamente.
- b) Analizar el impacto del tamaño poblacional sobre la estabilidad de las estrategias de cooperación, deserción y abstención en presencia del mecanismo de castigo propuesto.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

6. Resultados esperados y los medios para verificarlos

○ En relación al objetivo específico 1:

Comparar los resultados evolutivos entre el juego de bienes públicos opcional sin castigo y el modelo propuesto con castigo probabilístico.

- **Resultado esperado:** Identificación de diferencias que podrían llegar a existir en el comportamiento de estrategias (cooperadores, desertores y solitarios) entre ambos modelos.
- **Medio de verificación:** Gráficos comparativos de evolución respecto al tiempo de las frecuencias estratégicas (diagrama triangulo simplex, diagrama de cuadrilla) obtenidos mediante simulaciones numéricas bajo condiciones idénticas para ambos escenarios.

○ En relación al objetivo específico 2:

Analizar el impacto del tamaño poblacional sobre el comportamiento y la proporción de estrategias en presencia del castigo probabilístico. Resultado esperado: Caracterización de patrones de comportamiento o variación del comportamiento de la cooperación en función del tamaño de la población.

- **Medio de verificación:** Conjunto de gráficos de evolución de estrategias para distintos tamaños de población (por ejemplo, 50×50, 100×100, 200×200).

7. Antecedentes y Justificación

Los juegos de bienes públicos (PGG) han sido ampliamente utilizados como modelos teóricos para estudiar la cooperación en contextos sociales, económicos y biológicos (Nowak, 2006; Perc et al., 2017). En su forma clásica, estos juegos plantean un dilema donde los individuos pueden elegir entre cooperar (contribuir al bien común) o desertar (beneficiarse sin contribuir), generando tensiones entre el interés individual y el colectivo. Con el objetivo de reflejar mejor los comportamientos observados en poblaciones reales, diversos estudios han incorporado variaciones al modelo base. Una de las más significativas es la inclusión de la opción de no participar (estrategia del “loner”), introducida por Hauert et al. (2002), la cual permite sostener la cooperación a lo largo del tiempo al introducir una estrategia neutral que evita el dilema social. Además de estas modificaciones estructurales, se han propuesto mecanismos complementarios basados en reputación, memoria o reciprocidad condicional que muestran efectos positivos sobre la cooperación en juegos espaciales (Yang et al., 2024; Federico et al., 2025). También se han explorado incentivos como la recompensa (Yang et al., 2024) y sanciones para contrarrestar el fenómeno del “free-riding” (Fehr & Gächter, 2002; Sigmund et al., 2010; Helbing et al., 2010). Los tipos más relevantes de sanciones incluyen el castigo por pares (peer punishment) y el castigo



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

centralizado (pool punishment) (Fehr & Gächter, 2002; Szolnoki & Perc, 2017), que, aunque efectivos para estabilizar la cooperación, implican costos que suelen recaer sobre los cooperadores (Yamagishi, 1986), comprometiendo su sostenibilidad.

El juego de bienes públicos puede realizarse en poblaciones bien mezcladas o en grillas espaciales (Nowak, 2006; Szolnoki & Perc, 2017), siendo esta última más adecuada para representar la heterogeneidad conductual. Existe una menor cantidad de estudios enfocados específicamente en el juego opcional espacial con castigo, especialmente donde la decisión de sancionar dependa de una variable aleatoria.

Esta propuesta introduce en su metodología la estocasticidad al incorporar una variable de Bernoulli para modelar el comportamiento de los castigadores, permitiendo simular escenarios más realistas y equitativos. Este enfoque se inspira en arreglos institucionales comunitarios descritos por Ostrom (1990), donde no todos los individuos cooperativos aplican castigos en cada instancia. Así, se busca comprender mejor la dinámica evolutiva de la cooperación bajo condiciones más cercanas a contextos sociales reales.

En el contexto nacional, aunque existen estudios sobre juegos evolutivos (Botta et al., 2024), estos se centran principalmente en poblaciones bien mezcladas, sin explorar mecanismos probabilísticos de sanción en entornos espaciales. Por lo tanto, este trabajo representa una contribución innovadora respecto al estudio del comportamiento colectivo en torno a bienes públicos espaciales, con implicancias relevantes para el diseño de políticas públicas y la exploración de variantes probabilísticas dentro del marco de los juegos evolutivos.

8. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron los siguientes recursos:

- Una computadora personal de la Marca Lenovo Idea Pad Flex 5 con sistema operativo Windows 10, con un procesador Intel Core i7 de 8th (octava generación), Una tarjeta gráfica NVIDIA GEFORCE mx230 de 2gb vram con 8gb de ram a 2400mhz de velocidad
- Lenguaje de programación Python empleado para implementar las simulaciones.
- Uso de plataforma para entornos virtual Google Collab.
- Librerías o entornos de simulación específicos NumPy, Matplotlib.
- Acceso a artículos científicos y literatura especializada a través de bibliotecas digitales (como arXiv, JSTOR, ScienceDirect), utilizados para fundamentar teóricamente el modelo y validar comparaciones.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

El modelo propuesto se basa en un juego evolutivo de bienes públicos con opción de abstención y peer punishment implementado en un entorno espacial bidimensional (rejilla de agentes). Se introduce un mecanismo probabilístico mediante una variable aleatoria $X \sim \text{Bernoulli}(P_0)$ que determina si un cooperador asumirá el rol de castigador en una ronda determinada.

Las reglas del juego son las siguientes:

- Cada jugador decide si quiere participar o no del juego, si acepta participar debe decidir si va a ser un cooperador o un desertor.
- Cada cooperador realiza una contribución fija c al bien común.
- Un desertor no aporta al juego
- Si no acepta participar del juego, recibe un pago fijo de valor σ (sigma).
- La ganancia generada se multiplica por una tasa de retorno r y se reparte entre los participantes (excluyendo a los solitarios).
- Si un cooperador es seleccionado como castigador, incurre en un costo α por cada desertor sancionado.
- Cada desertor sancionado sufre una penalización β por cada cooperador que lo castigue, cumpliéndose que $\alpha < \beta$.

Bajo estas condiciones, los beneficios (payoffs) se definen como:

- $P_c = (r \cdot c \cdot nc) / n - c$: pago de un cooperador que no castiga.
- $P_{cp} = (r \cdot c \cdot nc) / n - c - \alpha \cdot nd$: pago de un cooperador que castiga a los desertores.
- $P_{dp} = (r \cdot c \cdot nc) / n - \beta \cdot ncp$: pago de un desertor castigado por ncp cooperadores.
- $P_l = (\sigma)$: pago de un jugador que opta por no participar del juego.

Donde:

- nc , nd y nl representan el número de cooperadores, desertores y solitarios, respectivamente;
- $n = nc + nd$ es el número total de jugadores que participan en la ronda (excluyendo a los solitarios);
- r es la tasa de retorno del bien público;
- c es la contribución de cada cooperador al juego;
- ncp es el número de cooperadores que castigan.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

El sistema se evalúa a lo largo de múltiples generaciones mediante simulaciones numéricas. Se observa la evolución de frecuencias estratégicas en función de parámetros clave (como P_0 , y el tamaño de la población), para identificar condiciones que favorecen la cooperación sostenida. Los resultados se visualizan mediante gráficos como el triángulo simplex y Cuadrícula de interacciones, todos respecto al paso del tiempo.

9. Relevancia de la propuesta

La presente propuesta contribuye a la línea de teoría de juegos evolutivos y evolución de la cooperación de la Facultad Politécnica, así como a la teoría de juegos aplicados, mediante la introducción de un mecanismo novedoso en juegos de bienes públicos espaciales con opción de abstención.

Se espera que este mecanismo de sorteo de castigadores permita identificar condiciones más efectivas, especialmente niveles bajos pero eficaces de probabilidad de castigo, que puedan aumentar la cooperación sin imponer cargas excesivas sobre los jugadores que aplican las sanciones. Este avance podría ser particularmente relevante en sistemas sociales o económicos donde la aplicación universal del castigo no es viable o deseable y los resultados de la propuesta podrían aportar herramientas analíticas y metodológicas aplicables a entornos donde el mantenimiento de normas sociales depende de mecanismos de sanción distribuidos, como la gobernanza de bienes comunes, las políticas públicas o los sistemas de participación ciudadana.

Además, este trabajo apoyará la apertura de nuevo conocimiento en el área de investigación para la teoría de juegos, esta propuesta apunta al desarrollo integral del investigador en formación, desde la elaboración del proyecto hasta la participación en un evento internacional en donde pueda presentar los resultados a la comunidad académica, adquirir nuevas ideas y sugerencias sobre el estudio realizado y como podría llegar a ser mejorado el cual permita ampliar y mejorar aún más para la entrega del trabajo final de la Maestría en Ciencias de la Computación.

10. Plan del trabajo

Tiempo de duración en meses: 5 (cinco)

Inicio del proyecto: Junio

Finalización del proyecto: Octubre



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

Resultado esperado	Actividades principales	Indicadores de éxito	Medios de Verificación	Supuestos/ imponderables	Tiempo de ejecución (semana N°)
1. Comparación entre modelo sin castigo y modelo con castigo probabilístico.	• Implementación computacional del modelo clásico y el propuesto. • Ejecución de simulaciones comparativas. • Análisis gráfico de resultados.	• Modelos funcionales replicables y resultados comparativos generados.	• Código fuente, gráficos comparativos, cuaderno de simulaciones en Google Collab.	• Disponibilidad de tiempo para ejecución computacional intensiva debido a su extenso tiempo de ejecución.	Semana 1 a 8
2. Análisis con distintos tamaños de población.	• Modificación paramétrica del tamaño de la grilla. • Ejecución de simulaciones. • Análisis del impacto sobre la cooperación.	• Generación de múltiples simulaciones con distintos tamaños. • Identificación de tendencias o patrones identificables.	• Código fuente, conjunto de gráficos, reportes estadísticos, notas de análisis.	• Tiempo de procesamiento. • Comprobación de estabilidad del sistema.	Semana 9 a 16
3. Presentación en el evento	• Preparación de presentación para el evento. • Revisión de resultados y ajustes para la presentación. • Participación en el evento al cual se postuló el trabajo.	• Presentación entregada y defendida con éxito.	• Presentación final entregada. • Registros del evento.	• Posibilidad de imprevistos en el evento. • Tiempo limitado para ajustes finales.	Semana 9 a 12 (para preparación) y Semana 13 a 16 (para la participación en el evento)
Informe final y preparación de resultados.	• Redacción del informe técnico. • Preparación de visualizaciones. • Revisión y ajustes.	• Informe completo con resultados documentados.	• Documento final entregado. • Anexos de código y resultados.	• Validación de datos generados. • Tiempo para revisión.	Semana 17 a 20



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

11. Presupuesto

	Descripción del bien o servicio	Especificaciones básicas	Actividad	Subtotal Guaraníes
1	Pasaje aéreo	Ida y vuelta Asunción – Al local del evento	Participación en congreso	4.200.000Gs.
2	Viáticos	Alojamiento y alimentación por 4 días (≈ 80 USD/día)	Estancia durante congreso	3.600.000 Gs.
3	Inscripción al evento	Estudiante de posgrado no afiliado (R\$ 380 $\approx$ 73 USD)	Derecho a presentar póster y asistir	585.000 Gs.
4	Suscripción Google Colab	Plan Pro por 3 meses	Simulaciones y análisis	240.000 Gs.
	Total Estimado	8.625.000 Gs.		
	Total	8.625.000 Gs		

Observación

El trabajo fue sometido para su evaluación en el evento de la CNMAC 2025, que se realizará en Río de Janeiro. En caso de ser aceptado, será presentado en dicho evento; de lo contrario, se considerará su presentación en un próximo evento dentro del período establecido.

12. Estrategia de comunicación

Los resultados de esta investigación serán divulgados mediante publicaciones en revistas científicas indexadas y/o presentaciones en eventos académicos, tanto a nivel nacional como internacional. En particular, se prevé la participación en el **Congreso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC) 2025**, donde se presentará un póster científico relacionado con los avances y hallazgos del proyecto, contribuyendo así a la visibilidad y validación académica del trabajo.



13. Referencias bibliográficas

1. Botta, R., Blanco, G., & Schaerer, C. E. (2024). *Discipline and punishment in panoptical public goods games*. *Scientific Reports*, 14, 7903.
2. Fehr, E., & Gächter, S. (2002). Altruistic punishment in humans. *Nature*, 415(6868), 137–140.
3. Federico, F., Balakrishna, R., & Janssen, M. A. (2025). Evolution of conditional cooperation in a spatial public goods game. *PLOS Complex Systems*, 2(4), e0000040.
4. Hauert, C., De Monte, S., Hofbauer, J., & Sigmund, K. (2002). Volunteering as Red Queen mechanism for cooperation in public goods games. *Science*, 296(5570), 1129–1132.
5. Helbing, D., Szolnoki, A., Perc, M., & Szabó, G. (2010). Punish or perish? Retaliation and collaboration among humans. *PLoS One*, 5(5), e9757.
6. Nowak, M. A. (2006). Five rules for the evolution of cooperation. *Science*, 314(5805), 1560–1563.
7. Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
8. Perc, M., Jordan, J. J., Rand, D. G., Wang, Z., Boccaletti, S., & Szolnoki, A. (2017). Statistical physics of human cooperation. *Physics Reports*, 687, 1–51.
9. Sigmund, K., De Silva, H., Traulsen, A., & Hauert, C. (2010). Social learning promotes institutions for governing the commons. *Nature*, 466(7308), 861–863.
10. Szolnoki, A., & Perc, M. (2017). Second-order free-riding on antisocial punishment restores the effectiveness of prosocial punishment. *Physical Review X*, 7(4), 041027.
11. Yamagishi, T. (1986). The provision of a sanctioning system as a public good. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(1), 110–116.
12. Yang, H., Tang, W., & Pi, J. (2024). Cooperative emergence of spatial public goods games with reputation discount accumulation. *New Journal of Physics*, 26(1), 013017.