

# Guerra de Serpientes

## Resumen

### Guerra de Serpientes: Aprender de las Metáforas de la Naturaleza

Este artículo presenta un modelo metafórico basado en la naturaleza —serpientes, ratas y arroz— para evidenciar los peligros de las decisiones cortoplacistas centradas en síntomas visibles. La caza furtiva de serpientes puede parecer una solución fácil para obtener ingresos, pero desmantela la delicada interdependencia ecológica, provocando colapso agrícola e inseguridad alimentaria. Estas dinámicas no son exclusivas de la ecología: reflejan patrones comunes en los negocios y la política pública, donde las decisiones se enfocan en variables visibles y medibles, dejando intactas las causas profundas que residen en estructuras latentes. La metáfora de las "Guerras de Serpientes" permite ilustrar cómo las políticas sustentadas en métricas inmediatas pueden destruir la sostenibilidad futura. Proponemos el uso del pensamiento sistémico y la simulación como herramientas para descubrir causas raíz y transformar la toma de decisiones hacia un futuro sostenible.

 <p><b>OASIS IO</b><sup>®</sup></p> <p><a href="http://oasis-io.com">Oasis Incubadora de Negocios en Línea.</a></p>	<p><b>Autores:</b></p> <p><b>Pedro Dagoberto Almaguer Prado</b> <a href="mailto:pedro@oasis-io.com">pedro@oasis-io.com</a> +52(81)17588310</p> <p><b>Ramiro Luis Almaguer Navarro</b> <a href="mailto:ramiro@oasis-io.com">ramiro@oasis-io.com</a> +52(81)43966945 <a href="https://oasis-io.com">https://oasis-io.com</a></p>
--	--

Mayo 21, 2025

## Palabras clave

Dinámica de sistemas; adopción de innovaciones; pensamiento sistémico; políticas públicas; simulación; equilibrio ecológico; bienestar económico; estructuras latentes.

(Adapted from Saeed et. al. 2016)



## Tabla de contenidos:

 Introducción .....	6
 Ver el sistema antes de simularlo: una imagen que habla por sí sola .....	6
 Modelando con narrativa: Haciendo visible la lógica sistémica .....	7
 Nota de buena práctica de modelación.....	7
 Sector 1: Dinámica depredador-presa — Víboras vs. Ratas .....	8
 Rat Population .....	9
 Snake Population .....	9
 Rat pop density ratio .....	9
 Food av effect in snake birth rate .....	10
 Snake birth rate actual.....	11
 Snake growth .....	11
 Area actual.....	12
 Snake poaching actual .....	12
 <b>Snake poaching</b> .....	12
 Rat pop indicated.....	13
 Time to adj rat pop .....	13
 Rat Control.....	13
 Sector 2: Producción — El cultivo de arroz bajo presión ecológica.....	14
<b>Rice cultivation</b> (Cultivo de arroz) .....	15
 Rice cultivation indicated.....	15
 Time to adj cult (Tiempo de ajuste del cultivo de arroz) .....	16
 Rat damage (Daño por ratas).....	16
 Rice density ratio (Razón de densidad del cultivo de arroz).....	16
Danza de equilibrio: cómo la naturaleza regula su propio ciclo .....	17
 Sector de Políticas: Intervenciones humanas y consecuencias no intencionadas.....	18
 Variable: Area normal.....	19
 Variable: Snake birth rate normal.....	19
 Variable: Snake poaching normal .....	20
 Sector 4: Indicadores de Desempeño (Performance Indicators).....	21
Indicador de Desempeño: Ecosystem Health (Salud del Ecosistema) .....	23

Indicador de Desempeño: Economic Welfare (Bienestar Económico) .....	24
 Descripciones concisas (Español).....	26
 Bilingual Table – Economic Model Variables .....	26
Modelo Sistémico de Gestión de Ecosistemas y Políticas Públicas .....	27
Entre la Caza y el Encanto: El Dilema de la Intervención.....	28
 Análisis Gráfico de Resultados: Claves para Decisiones Sistémicas.....	28
 Escenario 1: Sin aplicar política alguna.....	29
Descripción del escenario:.....	29
 Escenario 2: Activación de la política de caza furtiva de serpientes.....	30
 Descripción del escenario:.....	30
 Resumen gráfico del escenario: Activación de la política de caza furtiva de serpientes en el mes 5 (20%) .....	31
 Lecciones para el mundo empresarial .....	31
 Escenario 3: Ampliar sin transformar acelera el colapso.....	32
 Descripción de la sección:.....	32
 Ejemplo empresarial para conectar con la realidad: .....	33
 Escenario 4 – Encantadores de Serpientes: El sistema alcanza la zona sostenible .....	34
Descripción del escenario:.....	34
 Tabla resumen expandida – Escenario 4 .....	35
 Conexión con el mundo empresarial: .....	35
 Conclusión .....	36
Referencias .....	36

## Tabla de figuras:

Figure 1 "Donde algunos ven arroz y serpientes como ingresos fáciles, el sistema ve equilibrio. Si rompes ese balance, cultivas un colapso." .....	7
Figure 2: El equilibrio natural entre víboras y ratas: cuando las víboras desaparecen, las ratas se descontrolan y el ecosistema colapsa. ....	8
Figure 3: Función gráfica no lineal.....	10
Figure 4: Datos de la función. ....	10
Figure 5: La producción de arroz como reflejo del equilibrio ecológico.....	14
Figure 6:  Dos ciclos de balanceo interconectados: una danza entre ratas, serpientes y arroz. ....	17
Figure 7: Sector de Políticas – Diseño de intervenciones humanas .....	18
Figure 8: Sector de Indicadores de Desempeño – Bienestar Económico vs. Salud del Ecosistema. ....	22
Figure 9: El Cuadrante Mágico de Resultados Sistémicos. ....	23
Figure 10: Modelo integral: ciclos naturales, economía, políticas y resultados en un solo diagrama.....	27
Figure 11: Impacto sistémico de las políticas en la dinámica serpiente-rata-arroz: cuatro perspectivas gráficas clave. ....	30
Figure 12: Colapso del sistema por intervención no sistémica: efectos de la caza furtiva de serpientes. ....	31
Figure 13: Más área, sin control estructural, acelera el colapso. ....	32
Figure 14: Encantadores de serpientes restauran el balance: economía y ecología se alinean hacia la sostenibilidad. ....	34

## Introducción

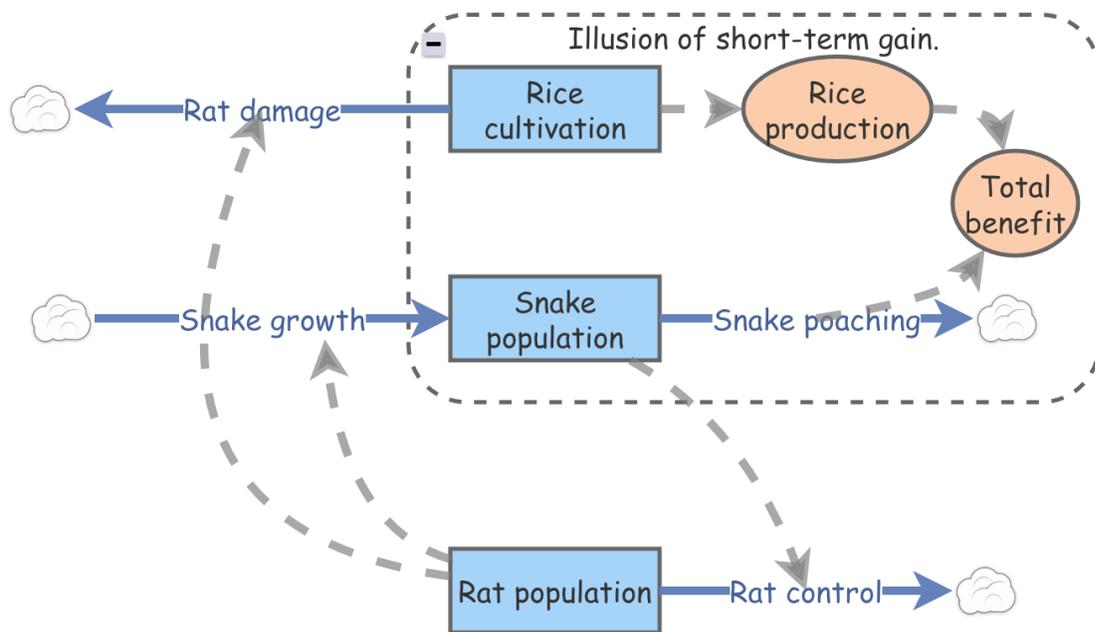
Con frecuencia tomamos decisiones dentro de estructuras visibles (manifiestas) —lo que podemos medir, ver o controlar— sin reconocer que los verdaderos impulsores del comportamiento sistémico yacen bajo la superficie. En los ecosistemas, como en las organizaciones, eliminar un depredador clave como la serpiente puede desencadenar consecuencias no deseadas: sobrepoblación de presas, colapso productivo y fracaso sistémico. Este artículo presenta la metáfora de las "Guerras de Serpientes", no solo como una historia ecológica, sino como una herramienta de aprendizaje útil para los negocios y la política pública.

Las soluciones actuales se basan en lo fácil de medir —desviaciones, métricas de rendimiento, niveles de actividad— sin comprender las estructuras invisibles que generan esos resultados. Estas estructuras latentes, llenas de interdependencias y ciclos de retroalimentación, rara vez se abordan porque son intangibles, lentas y difíciles de cuantificar. Sin embargo, son la causa raíz del comportamiento de largo plazo.

A través de la simulación de la dinámica entre serpientes, ratas y arroz, mostramos los peligros de perseguir beneficios inmediatos a costa de la resiliencia sistémica. Argumentamos que esta metáfora tiene aplicaciones más allá de la agricultura rural: ofrece lecciones para tomadores de decisiones en cualquier sistema —desde gobiernos hasta empresas— que necesitan cambiar de soluciones reactivas y sintomáticas hacia transformaciones sistémicas profundas.

### Ver el sistema antes de simularlo: una imagen que habla por sí sola

Una simple imagen puede revelar la complejidad de un sistema mejor que mil explicaciones. En el diagrama inicial, observamos un ciclo natural profundamente interconectado: las serpientes regulan a las ratas, y estas a su vez amenazan los cultivos de arroz. Sin embargo, ante la oportunidad de negocio inmediato, se introduce la caza furtiva de serpientes como fuente de ingreso, junto con la venta del arroz. A primera vista parece una solución rentable. Pero al observar detenidamente, emerge un patrón destructivo: al reducir la población de serpientes, las ratas crecen sin control, devastan los cultivos y finalmente todos pierden —el campesino, el ecosistema y la economía local. Esta imagen no necesita palabras para crear conciencia: revela cómo al tomar decisiones basadas en beneficios visibles de corto plazo, desmantelamos las estructuras invisibles que sostienen nuestra supervivencia.



(Adapted from Saeed et. al. 2016)

Figure 1 "Donde algunos ven arroz y serpientes como ingresos fáciles, el sistema ve equilibrio. Si rompes ese balance, cultivas un colapso."

*Ver el sistema antes de simularlo: una imagen que habla por sí sola.*

*La interacción entre víboras, ratas y arroz revela cómo una acción aislada —como la caza furtiva de serpientes— puede desequilibrar todo el ecosistema, causando pérdidas económicas y ambientales. Esta imagen resume el problema que inspiró el modelo.*

## 📖 Modelando con narrativa: Haciendo visible la lógica sistémica

Para hacer clara y accesible la lógica subyacente de nuestro modelo de simulación, recorreremos cada uno de sus cuatro sectores a través del **storytelling**. Este enfoque narrativo nos permite dar vida a la estructura de acumuladores, flujos y ciclos de retroalimentación de una manera que va más allá del lenguaje técnico. Al seguir la historia de las serpientes, las ratas, los campos de arroz y las decisiones humanas, descubrimos cómo las pequeñas acciones generan impactos en un sistema interconectado—moldeando sus resultados a largo plazo. Comencemos con el primer sector: la relación depredador-presa entre víboras y ratas.

### 📌 Nota de buena práctica de modelación

#### **Normalización del modelo: prueba de equilibrio base**

Una buena práctica en la construcción de modelos de simulación es **normalizar el modelo**, lo que significa que, **en ausencia de políticas activas o perturbaciones externas**, el sistema debe permanecer en equilibrio. Es decir, los niveles (stocks) deben mantenerse constantes. Esto permite verificar la coherencia matemática del modelo y proporciona una línea base confiable sobre la cual analizar los efectos de distintas políticas.



## Rat Population

- **Nombre:** Rat Population
- **Valor inicial:** 500
- **Unidad de medida:** Rats
- **Permite valores negativos:** ✓ *Allow negatives*
- **Tipo:** *Stock (Acumulador)*

### Descripción:

Este stock representa la población total de ratas en el ecosistema. Las ratas tienen una alta tasa de reproducción y se alimentan principalmente del arroz cultivado, convirtiéndolas en una amenaza directa para la seguridad alimentaria. Su crecimiento depende de la tasa de natalidad y se reduce por la predación de serpientes. Mantener esta población bajo control es esencial para la estabilidad del sistema.

## Snake Population

- **Nombre:** Snake Population
- **Valor inicial:** 10
- **Unidad de medida:** Snakes
- **Permite valores negativos:** ✓ *Allow negatives*
- **Tipo e:** *Stock (Accumulator)*

### Descripción:

Esta población representa el número total de serpientes en el ecosistema. Las serpientes desempeñan un papel vital como depredadores naturales de las ratas. Su población aumenta cuando el alimento (ratas) es abundante y disminuye debido a la muerte natural o a acciones humanas como la caza furtiva. Mantener una población saludable de serpientes es esencial para controlar la población de ratas y garantizar el equilibrio ecológico. Cuando este equilibrio se altera, pueden producirse consecuencias en cascada, perjudicando la agricultura, la resiliencia económica y la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

## Rat pop density ratio

- **Nombre:** Ratio de densidad de población de ratas
- **Tipo:** Variable auxiliar
- **Fórmula:**  
$$\left( \frac{[\text{Población de ratas}]}{[\text{Área actual}]} \right) / \left( \text{Fix}([\text{Población de ratas}]) / \text{Fix}([\text{Área actual}]) \right)$$
- **Unidad de medida:** Sin unidad (*Unitless o Dimensionless*)

### Descripción:

Esta variable representa la densidad de población de ratas normalizada, es decir, ajustada para que su valor inicial en la simulación sea igual a **1**, siempre que no se apliquen políticas. La función Fix() captura el valor de una variable al inicio de la simulación, asegurando que la relación entre la población de ratas y el área actual sea estable y se mantenga como referencia. Esta práctica de normalización es una buena práctica de modelación, ya que permite verificar

que el sistema está equilibrado antes de introducir cualquier intervención. Esta variable no tiene unidades porque se trata de una proporción relativa, por lo tanto se considera *sin dimensión*.

### Food av effect in snake birth rate

- **Nombre:** Efecto de la disponibilidad de alimento en la tasa de nacimiento de serpientes
- **Tipo:** Variable tipo *converter*
- **Fórmula:**  
Función no lineal construida con una **tabla de datos** que define una **relación entre el eje X** (valores de *Rat Population Density Ratio*, entre 0 y 2) y el eje Y (efecto sobre la tasa de nacimientos de serpientes).
- **Unidad de medida:** Sin unidad (*Unitless / Dimensionless*)

#### Descripción:

Esta variable representa una **relación no lineal** entre la densidad de ratas y su efecto en la tasa de nacimiento de serpientes. La función se define mediante una **curva de puntos tabulados** donde el eje X abarca valores de 0 a 2 (correspondientes a la *Rat Population Density Ratio*), y el eje Y devuelve un valor que representa el efecto proporcional en la tasa de nacimiento de serpientes.

Cuando el valor de entrada no coincide exactamente con un punto tabulado, el sistema utiliza el **método de interpolación** para estimar el valor correspondiente de la curva, rellenando el 100% del rango de valores posibles entre los extremos.

Dado que al inicio de la simulación *Rat Population Density Ratio* tiene un valor de 1, esta función deberá retornar también **1** como resultado, asegurando un comportamiento normalizado del sistema. Al ser una proporción relativa, esta variable **no tiene dimensión**.

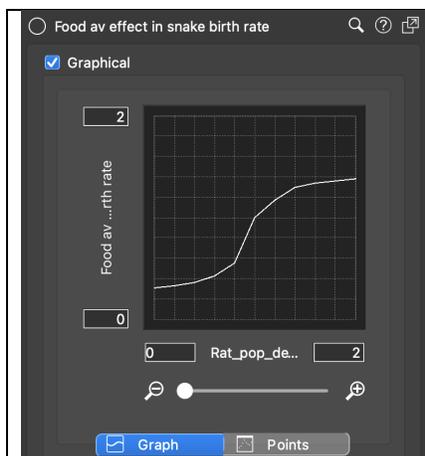


Figure 3: Función gráfica no lineal.

	t_po...ratio	Food a...h rate
1	0.000	0.309
2	0.200	0.330
3	0.400	0.362
4	0.600	0.426
5	0.800	0.553
6	1.000	1.000
7	1.200	1.171
8	1.400	1.297
9	1.600	1.339

Figure 4: Datos de la función.

#### **Nota:**

Faltan dos datos de la función no lineal:

1.8 le corresponde 1.36

2.0 su valor es 1.381

## Snake birth rate actual

- **Nombre:** Tasa de nacimiento actual de serpientes
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Fórmula:**  
[Snake birth rate normal] \* [Food av effect in snake birth rate]
- **Unidad de medida:** 1/Mes (1/Months)

### Descripción:

Esta variable representa la **tasa de nacimiento actual de serpientes**, ajustada dinámicamente según la disponibilidad de alimento (ratas). Se calcula multiplicando la tasa normal de nacimiento de serpientes (*Snake birth rate normal*) por el efecto no lineal derivado de la densidad de ratas (*Food av effect in snake birth rate*).

De este modo, cuando la disponibilidad de alimento es baja (menos ratas), la tasa de nacimiento disminuye; cuando es alta, aumenta proporcionalmente.

Este valor ajustado se utilizará directamente para calcular el **flujo de nacimientos de serpientes**, permitiendo al modelo simular cómo la dinámica depredador-presa afecta a la reproducción de las víboras.

## Snake growth

- **Nombre:** Crecimiento de la población de serpientes
- **Tipo:** *Flujo (Flow)*
- **Fórmula:**  
[Snake population] \* [Snake birth rate actual]
- **Unidad de medida:** Serpientes/Mes (Snakes/Months)

### Descripción:

Este flujo representa el **número de serpientes nacidas cada mes**. Se calcula multiplicando el tamaño actual de la población de serpientes (*Snake population*) por la tasa de nacimiento ajustada (*Snake birth rate actual*).

Es el flujo que **aumenta el stock de serpientes**, y varía dependiendo de la disponibilidad de alimento (ratas), que influye en la tasa de nacimiento.

Este componente refleja cómo el ecosistema responde a los cambios en las condiciones naturales, particularmente en la dinámica depredador-presa.

### Nota técnica de validación:

En una simulación normalizada —sin aplicación de políticas ni perturbaciones— este flujo deberá ser igual al flujo de muertes o salidas de serpientes, garantizando que el **stock de serpientes permanezca en equilibrio**. Esta condición es clave para validar el comportamiento matemático del modelo.

## Area actual

- **Nombre completo:** Área actual de cultivo de arroz
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Fórmula:**  
[Area normal]
- **Unidad de medida:** Hectáreas (Ha)

### Descripción:

Esta variable representa el **tamaño actual del área de cultivo de arroz**, medido en hectáreas. Por defecto, su valor es igual al de la variable [Area normal], definida en el **sector de políticas**, y puede modificarse desde allí para simular escenarios como reducción, expansión o recuperación del área sembrada.

Esta variable es clave para determinar la **densidad poblacional de ratas** y para evaluar el impacto de las políticas sobre la producción agrícola y el ecosistema.

## Snake poaching actual

- **Nombre completo:** Tasa actual de caza furtiva de serpientes
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Fórmula:**  
[Snake poaching normal]
- **Unidad de medida:** 1/Mes (1/Months)

### Descripción:

Esta variable representa la **tasa actual de caza furtiva de serpientes**, expresada como proporción mensual.

Su valor se toma directamente de [Snake poaching normal], una variable que puede modificarse desde el **sector de políticas** para simular distintos escenarios de presión humana sobre la población de serpientes.

La caza furtiva reduce directamente el tamaño de la población de serpientes, afectando el equilibrio del sistema depredador-presa y provocando consecuencias indirectas en la agricultura y la economía local.

## Snake poaching

- **Nombre completo:** Caza furtiva de serpientes
- **Tipo:** *Flujo*
- **Fórmula:**  
[Snake population] \* [Snake poaching actual]
- **Unidad de medida:** Serpientes/Mes (Snakes/Months)

### Descripción:

Este flujo representa la cantidad de serpientes que mueren mensualmente como resultado de la caza furtiva. Se calcula multiplicando la población actual de serpientes por la **tasa actual de**

**caza furtiva** (Snake poaching actual), que es una variable auxiliar definida en el sector de políticas.

Este flujo reduce el stock de serpientes y afecta directamente el equilibrio del ciclo depredador-presa. Su aumento puede provocar una proliferación descontrolada de ratas, con consecuencias negativas para los cultivos y la estabilidad del ecosistema.

### Rat pop indicated

- **Nombre completo:** Población de ratas indicada
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Fórmula:**  
$$([\text{Rice density ratio}] / [\text{Snake pop density ratio}]) * \text{Fix}([\text{Rat population}])$$
- **Unidad de medida:** Ratas (Rats)

### Descripción:

Esta variable representa el valor de referencia para la población de ratas, calculado en función de la densidad de arroz disponible y la presión de depredación ejercida por las serpientes. Su valor es directamente proporcional al **Rice density ratio** (relación entre la densidad de alimento disponible para las ratas) e inversamente proporcional al **Snake pop density ratio** (densidad relativa de depredadores). Esto refleja que, con más arroz y menos serpientes, se espera una mayor población de ratas.

El resultado se normaliza usando el valor fijo inicial de la población de ratas, obtenido mediante la función  $\text{Fix}([\text{Rat population}])$ , garantizando así consistencia con el equilibrio del sistema al inicio de la simulación.

Esta variable se utiliza para actualizar el flujo neto de ratas nacidas o muertas en el ciclo depredador-presa.

### Time to adj rat pop

- **Nombre completo:** Tiempo para ajustar la población de ratas
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Valor inicial:** 1
- **Unidad de medida:** Meses (Months)

### Descripción:

Este parámetro define el **tiempo de ajuste** necesario para que la población de ratas se adapte a su valor indicado (**Rat pop indicated**) dentro del ciclo depredador-presa. Es una constante que actúa como el **tiempo de respuesta** del sistema a cambios en las condiciones de alimento o presión de depredación.

Un valor de 1 mes implica que el sistema intenta alcanzar el valor indicado en ese intervalo de tiempo, generando una dinámica sensible pero controlada.

### Rat Control

- **Nombre completo:** Flujo de control de la población de ratas

- **Tipo:** *Flujo (Flow)*
- **Fórmula:**  $-(\text{[Rat pop indicated]} - \text{[Rat population]}) / \text{[Time to adj rat pop]}$
- **Unidades de medida:** Ratas por mes (Rats/Months)
- **Permite valores negativos:** ✓ Sí (flujo bidireccional)

 **Descripción:**

**Rat Control** es el flujo que ajusta la población de ratas en el modelo, regulando la entrada o salida neta hacia el stock **Rat population**. La fórmula compara el valor deseado (**Rat pop indicated**) con el actual y distribuye el ajuste en el tiempo definido por **Time to adj rat pop**.

- Si la población deseada es **mayor** que la actual, el flujo será **negativo**, añadiendo ratas al stock.
- Si la población deseada es **menor**, el flujo será **positivo**, retirando ratas del stock.

El signo negativo garantiza un ajuste direccional correcto.

Este flujo bidireccional es esencial para mantener el equilibrio del ecosistema en función de la presión depredador-presa y la disponibilidad de alimento.

 **Sector 2: Producción — El cultivo de arroz bajo presión ecológica**

En este segundo sector, abordamos el cultivo de arroz como actividad económica central del sistema. El arroz no solo representa una fuente crucial de alimento para la población, sino también un indicador de estabilidad y bienestar en la región.

La lógica de este sector está profundamente conectada con la dinámica depredador-presa vista en el primer sector. Cuando la población de ratas se descontrola —por la ausencia de serpientes—, las cosechas sufren daños severos. Esta pérdida de producción agrícola es uno de los primeros síntomas visibles del desequilibrio ecológico, lo que afecta directamente la seguridad alimentaria y la economía local.

El modelo capta esta relación mediante una cadena causal donde:

- A mayor densidad de ratas, menor producción de arroz.
- A menor producción de arroz, mayores tensiones socioeconómicas.
- Esta relación justifica la necesidad de políticas sistémicas que aborden tanto el control de plagas como la conservación de depredadores naturales.

Así, el sector de producción funciona como un **termómetro del impacto sistémico**, al reflejar en sus resultados las consecuencias indirectas de alteraciones en el ecosistema.

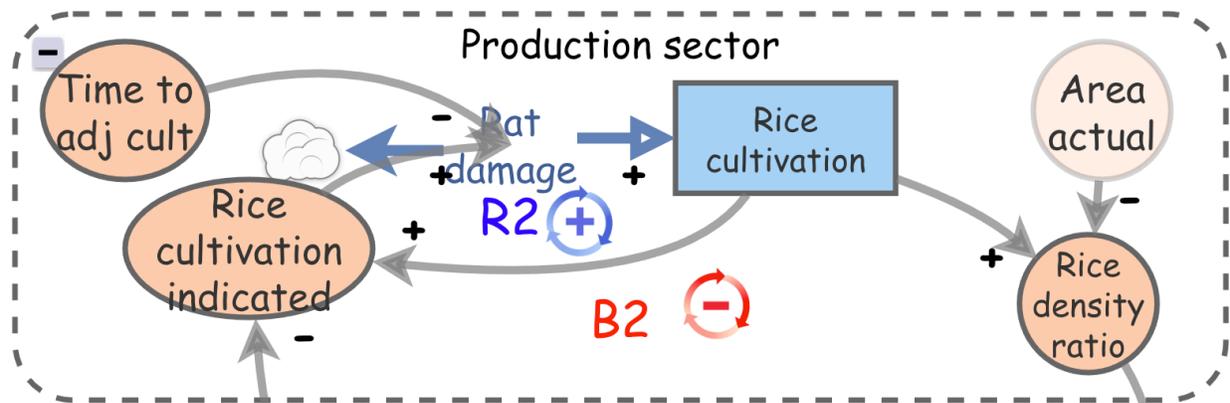


Figure 5: La producción de arroz como reflejo del equilibrio ecológico.

La imagen muestra cómo el rendimiento agrícola responde a la presión de las ratas cuando se rompe el equilibrio natural. Un cultivo amenazado no solo indica un problema ecológico, sino también una crisis alimentaria y económica en desarrollo.

## Rice cultivation (Cultivo de arroz)

**Tipo: Stock (Acumulador)**

**Valor inicial: 100**

**Unidades de medida: Toneladas de arroz (Rice tons)**

### Descripción:

El stock Rice cultivation representa la cantidad acumulada de arroz cultivado en el sistema, medida en toneladas. Esta variable es clave para evaluar tanto el bienestar económico como la salud del ecosistema, ya que el arroz cumple una doble función: alimentaria y ecológica. Su valor inicial está normalizado a 100 toneladas como punto de referencia para el equilibrio del sistema al inicio de la simulación. A partir de ahí, el valor de este stock puede incrementarse o disminuir dependiendo de las políticas aplicadas y de la dinámica del sistema (por ejemplo, infestación por ratas o incremento de área cultivada).

Este stock **permite valores negativos** (Sí), lo cual es necesario para capturar escenarios donde el sistema entra en crisis y se pierde por completo la capacidad de cultivar arroz. Aunque en la realidad esto no sería físicamente posible, se permite en el modelo como señal de colapso estructural o fallas graves de políticas, facilitando así la interpretación de resultados extremos.

### Rice cultivation indicated

- **Nombre completo:** Cultivo de arroz indicado
- **Tipo:** *Variable auxiliar*
- **Fórmula:**  $(1 / [\text{Rat pop density ratio}]) * \text{Fix}([\text{Rice cultivation}])$
- **Unidades de medida:** Toneladas de arroz (Rice tons)

### Descripción:

**Rice cultivation indicated** representa el nivel esperado o deseado de cultivo de arroz en función de la presión ejercida por la densidad poblacional de ratas.

- Es **inversamente proporcional** a **Rat pop density ratio**: a mayor densidad de ratas, menor será el valor indicado de cultivo de arroz.
- Se multiplica por el valor **inicial** de **Rice cultivation**, usando la función Fix, para mantener la referencia de equilibrio.

Esta variable permite ajustar el sistema agrícola en respuesta al impacto ecológico del desequilibrio entre ratas y serpientes, y sirve como base para definir cómo debe comportarse el flujo de ajuste en el siguiente paso del modelo.

## Time to adj cult (Tiempo de ajuste del cultivo de arroz)

**Tipo:** Variable auxiliar

**Valor inicial:** 1

**Unidades:** Meses (Months)

### Descripción:

Representa el tiempo que tarda en actualizarse el stock de arroz cultivado en respuesta a las condiciones del sistema, particularmente a la presión de la población de ratas.

**Propósito:** Sirve como parámetro de retardo o amortiguamiento para evitar fluctuaciones bruscas en la variable [Rice cultivation]. Ayuda a estabilizar el modelo frente a cambios en la densidad de ratas.

## Rat damage (Daño por ratas)

**Tipo:** Flujo

**Ecuación:**  $\text{Rat damage} = -([\text{Rice cultivation indicated}] - [\text{Rice cultivation}]) / [\text{Time to adj cult}]$

**Unidades:** Toneladas de arroz por mes (Rice tons/Months)

### Descripción:

Este flujo representa el impacto neto que tienen las ratas sobre el stock de arroz cultivado ([Rice cultivation]).

La diferencia entre [Rice cultivation indicated] (el nivel deseado o esperado de arroz cultivado, ajustado según la presión de la población de ratas) y [Rice cultivation] (el nivel actual) define cuánto arroz debe agregarse o eliminarse del stock para acercarse al equilibrio.

El signo negativo permite que el flujo sea bidireccional:

- Si [Rice cultivation indicated] es mayor que [Rice cultivation], el resultado es negativo → el stock aumenta (recuperación de cultivo).
- Si [Rice cultivation indicated] es menor que [Rice cultivation], el resultado es positivo → el stock disminuye (daño por ratas).

El parámetro [Time to adj cult] suaviza o amortigua la velocidad del ajuste, permitiendo que el modelo simule el tiempo real de respuesta del sistema agrícola ante cambios.

## Rice density ratio (Razón de densidad del cultivo de arroz)

**Tipo:** Variable auxiliar

**Fórmula:**  $([\text{Rice cultivation}] / [\text{Area actual}]) * (1 / (\text{Fix}([\text{Rice cultivation}] / \text{Fix}([\text{Area actual}])))$

**Unidades:** Sin unidades (unitless o dimensionless)

### Descripción:

Esta variable calcula la densidad del cultivo de arroz ajustada o normalizada. Se obtiene al dividir el nivel actual del cultivo de arroz ([Rice cultivation]) entre el área sembrada ([Area actual]) y luego se normaliza respecto al valor inicial del sistema usando la función Fix, que captura el valor inicial de cada variable.

El propósito de esta normalización es que, **cuando no se aplica ninguna política**, la variable tome el valor de **1**, reflejando un estado de equilibrio en el sistema. Esto permite detectar con facilidad desviaciones provocadas por políticas o eventos en la simulación.

### Danza de equilibrio: cómo la naturaleza regula su propio ciclo

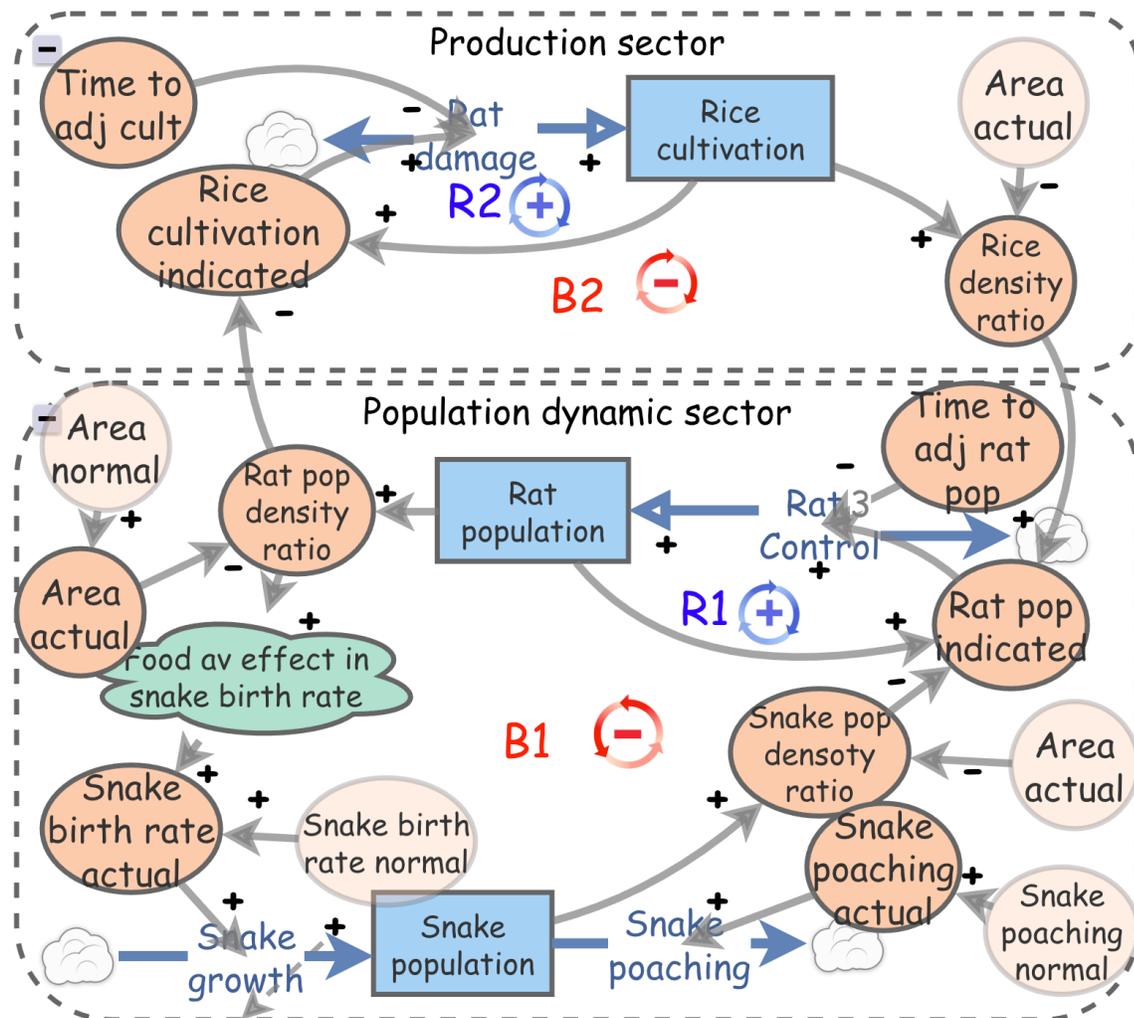


Figure 6: Dos ciclos de balanceo interconectados: una danza entre ratas, serpientes y arroz.

El modelo integra dos ciclos de retroalimentación de balanceo que regulan el comportamiento del sistema:

1. **Ciclo de control de ratas (B1):**

A mayor densidad de serpientes, mayor depredación de ratas. Al disminuir la población de ratas, se reduce su impacto en el arroz y el sistema tiende al equilibrio.

2. **Ciclo de protección del arroz (B2):**

Cuando aumenta el daño al arroz causado por las ratas, disminuye el cultivo de arroz. Esto reduce la disponibilidad de alimento para las ratas, disminuyendo su población y reduciendo así el daño, cerrando el ciclo.

Ambos ciclos operan simultáneamente para **mantener la sostenibilidad** del ecosistema.

 Sector de Políticas: Intervenciones humanas y consecuencias no intencionadas

En este sector se representan las decisiones humanas que modifican intencionalmente la dinámica natural del sistema. Aquí se integran variables clave como la intensidad de la caza de serpientes y el uso del suelo para cultivo de arroz, con el fin de simular distintos escenarios de intervención. Este sector permite observar cómo pequeñas modificaciones en parámetros de política pueden generar grandes impactos en los ciclos ecológicos y económicos. La intención es brindar un espacio para probar hipótesis de políticas sostenibles o destructivas, revelando los efectos colaterales que a menudo son invisibles a corto plazo.

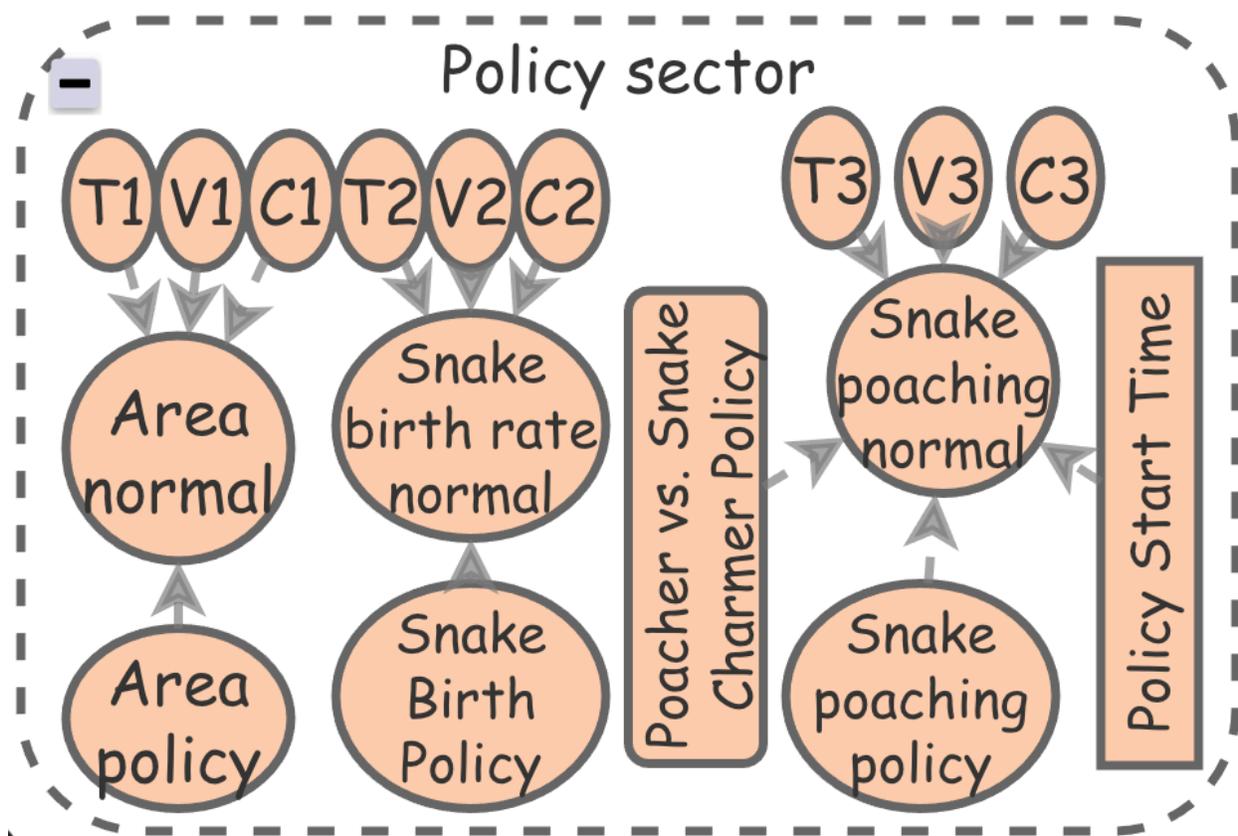


Figure 7: Sector de Políticas – Diseño de intervenciones humanas

El diagrama muestra las variables de decisión que permiten modificar el uso del suelo y la intensidad de la caza de serpientes. Este sector ofrece una interfaz clave para probar escenarios de política, revelando cómo nuestras acciones pueden reforzar o debilitar los ciclos naturales del sistema.

## Variable: Area normal

**Unidad:** Hectáreas (Ha)

**Sector:** Políticas / Policies

### Descripción

La variable **Area normal** representa el valor base del área de siembra de arroz en el sistema, y su fórmula permite modificar ese valor en función de una política agrícola que puede ser activada o desactivada durante la simulación. Se define con la siguiente ecuación:

$[V1] * (1 + \text{ifthenelse}([\text{Area policy}], 1, 0) * \text{STEP}([T1], [C1]/100))$

- **V1:** Valor inicial del área de siembra sin política activa. Valor por defecto: **1000 Ha**.
- **Area policy:** Variable booleana (tipo *State*) (true/false) que activa la política de cambio de área.
- **T1:** Tiempo a partir del cual la política entra en vigor. Valor: **5 Months**.
- **C1:** Porcentaje de cambio deseado en el área. Valor: **20** (sin unidades, expresado como 20%).
- **STEP([T1], [C1]/100):** Función escalón que activa el cambio porcentual una vez alcanzado el tiempo T1.

La política puede representar un aumento o una reducción del área de siembra. Por ejemplo, si se activa con **Area policy = true**, a partir del mes 5 se incrementará el área en un 20%, es decir, pasará de 1000 a 1200 hectáreas. Esta decisión tiene implicaciones directas en la dinámica del cultivo de arroz y en los ciclos ecológicos vinculados.

## Variable: Snake birth rate normal

**Unidad:** 1/Months

**Sector:** Políticas / Policies

### Descripción

La variable **Snake birth rate normal** representa la tasa base de natalidad de serpientes. Esta puede ser modificada mediante una política que permite incrementar o reducir su valor a partir de un momento determinado de la simulación. La fórmula es:

$[V2] * (1 + \text{ifthenelse}([\text{Snake Birth Policy}], 1, 0) * \text{STEP}([T2], [C2]/100))$

- **V2:** Tasa base de nacimiento de serpientes. Valor: **0.1 (1/Months)**
- **Snake Birth Policy:** Variable booleana (tipo *State*) (true/false) que activa la política de modificación.
- **T2:** Tiempo en el cual la política entra en vigor. Valor: **5 Months**
- **C2:** Porcentaje de cambio aplicado a la tasa de nacimiento. Valor: **20** (sin unidades)
- **STEP([T2], [C2]/100):** Función escalón que introduce el cambio después del tiempo T2.

Cuando la política se activa (**Snake Birth Policy = true**), a partir del mes 5, la tasa de natalidad de serpientes se incrementa un 20%, pasando de 0.1 a 0.12 (1/Months). Este cambio simula políticas ecológicas de conservación o reproducción asistida y tiene efectos significativos en el equilibrio del ecosistema modelado.

## Variable: Snake poaching normal

**Unidad:** 1/Months

**Sector:** Políticas / Policies

### Descripción (ES)

La variable **Snake poaching normal** representa la tasa de caza furtiva de serpientes. Esta puede ser modificada por dos políticas distintas y sucesivas:

1. **Política de control directo de caza furtiva de serpientes**, activada mediante la variable **Snake poaching policy**.
2. **Política de sustitución del cazador por encantadores de serpientes**, controlada por la variable **Poacher vs. Snake Charmer Policy**.

La fórmula completa que regula esta variable es:

```
IF ( [Poacher vs. Snake Charmer Policy] = false ) THEN
  [V3] * ( 1 + ifthenelse([Snake poaching policy], 1, 0) * STEP([T3], [C3]/100))
ELSE
  IF (Time() <= [Policy Start Time]) THEN
    [V3] * ( 1 + ifthenelse([Snake poaching policy], 1, 0) * STEP([T3], [C3]/100))
  ELSE
    [V3] * ( 1 + ifthenelse([Poacher vs. Snake Charmer Policy], 1, 0) * STEP([Policy Start Time], (-
[C3])/100))
  END IF
END IF
```

### Variables y valores involucrados:

- **V3:** Tasa base de caza furtiva. Valor inicial: **0.1 (1/Months)**
- **Snake poaching policy:** Variable booleana (tipo *State*) que activa la política de incremento o reducción de caza furtiva directa. Valor inicial: true
- **C3:** Porcentaje de cambio a aplicar. Valor: **20** (unitless)
- **T3:** Tiempo en el que entra en vigor la primera política. Valor: **5 Months**
- **Poacher vs. Snake Charmer Policy:** Variable booleana (tipo *State*) que activa la política de sustitución de cazadores por encantadores de serpientes. Valor inicial: **false**
- **Policy Start Time:** Tiempo en el que entra en vigor esta segunda política. Valor por defecto: **35 Months**

### Explicación de la lógica:

- **Antes de los 35 meses**, si **Poacher vs. Snake Charmer Policy = false**, se usa la política tradicional, que **incrementa la caza furtiva** un 20% si se activa.
- **Después de los 35 meses**, si se activa la política de encantadores (**Poacher vs. Snake Charmer Policy = true**), entonces se **reduce la caza furtiva** un 20%, usando un valor negativo del cambio (%), simulado con  $(-[C3])/100$ .

Esto permite simular un **cambio gradual de paradigma**, donde primero se intenta regular la caza y luego se reemplaza dicha práctica con una solución alternativa (encantadores), que reduce la presión sobre las poblaciones de serpientes de manera más sostenible.

## Sector 4: Indicadores de Desempeño (Performance Indicators)

### Propósito del sector

Este sector está diseñado para **visualizar de forma simple y clara los resultados del modelo**. Se utilizan dos indicadores clave que permiten evaluar el impacto de las políticas y dinámicas del sistema en dos dimensiones fundamentales:

- **Eje X:** Bienestar Económico (*Economic Welfare*)
- **Eje Y:** Salud del Ecosistema (*Ecosystem Health*)

Esta representación gráfica permite identificar en qué zona se encuentra el sistema en cada momento del tiempo, según el comportamiento combinado de ambos indicadores.

---

### Indicadores clave

#### 1. **Economic Welfare** (X-axis):

Evalúa el nivel de bienestar económico de la población o comunidad modelada. Este indicador puede derivarse de variables como producción de arroz, ingresos o estabilidad económica generada por la coexistencia entre humanos y ecosistemas.

#### 2. **Ecosystem Health** (Y-axis):

Mide el estado de conservación o degradación del ecosistema. Se basa en variables como el equilibrio poblacional entre especies clave (víboras, ratas), biodiversidad y control natural de plagas.

---

### Zonas de resultados

Con base en los valores de ambos indicadores, el sistema se puede clasificar en las siguientes zonas:

Zona	Descripción	Interpretación
 <b>Zona de Sustentabilidad</b>	Altos niveles de bienestar económico y salud ecosistémica.	El sistema ha alcanzado un equilibrio sostenible, donde las políticas implementadas logran armonía entre economía y naturaleza.
 <b>Zona de No Sostenibilidad</b>	Uno de los dos indicadores (económico o ambiental) presenta bajo desempeño.	Hay desequilibrio: o se prioriza la economía a costa del ambiente, o se protege el ecosistema sin lograr bienestar social. Requiere rediseño de políticas.
 <b>Zona de Estado Fallido</b>	Bajos niveles en ambos indicadores.	El sistema ha colapsado. Las decisiones han llevado a un deterioro tanto económico como ambiental. Se requiere un replanteamiento profundo de las estrategias.

---

### Utilidad del sector

Este sector permite al usuario:

- **Monitorear visualmente el rumbo del sistema** conforme avanza la simulación.

- **Comparar escenarios** de políticas aplicadas.
- **Comunicar de forma accesible y pedagógica** los resultados a tomadores de decisión, estudiantes o audiencias no expertas en modelado.

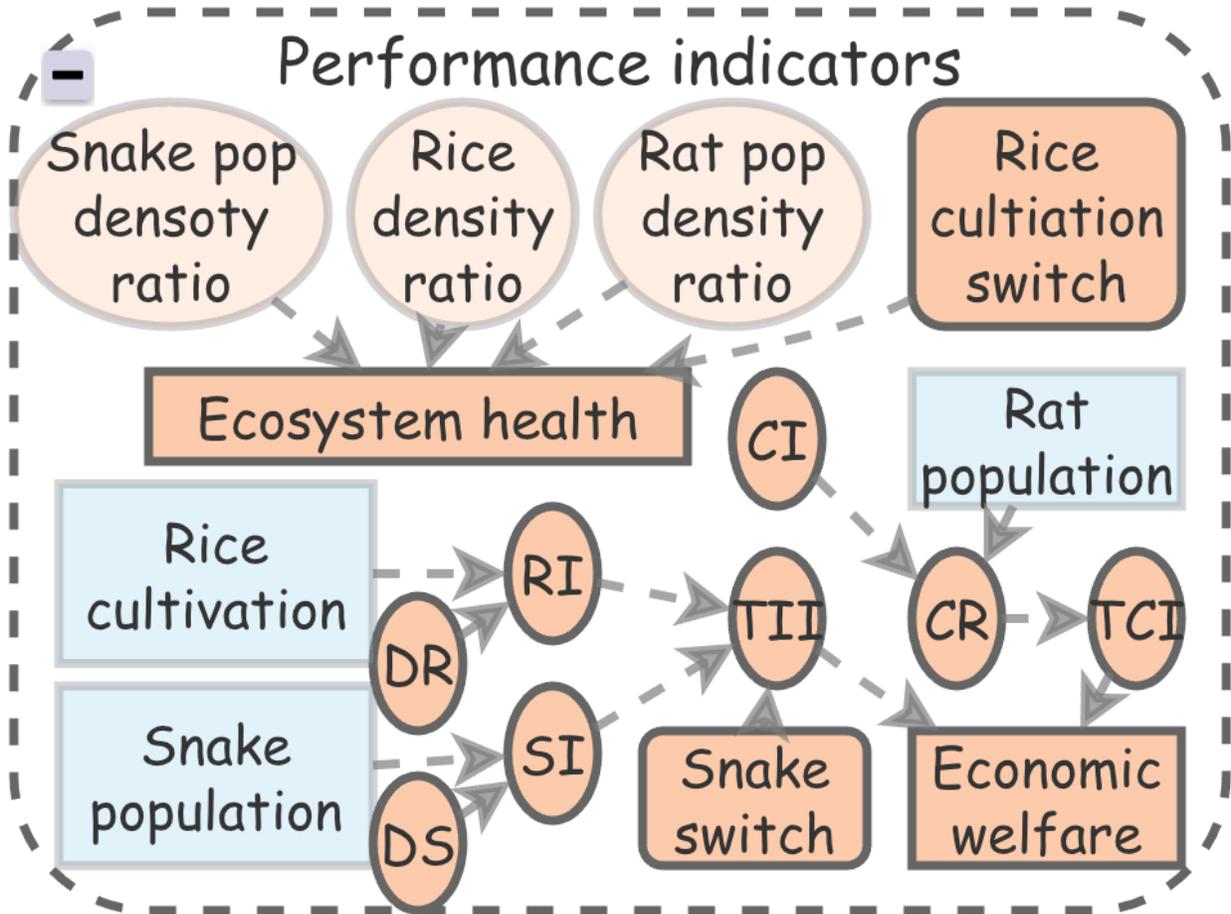


Figure 8: Sector de Indicadores de Desempeño – Bienestar Económico vs. Salud del Ecosistema.

Este diagrama resume visualmente los resultados del modelo, trazando el desempeño del sistema en dos ejes: Bienestar Económico (eje X) y Salud del Ecosistema (eje Y). La disposición en cuadrantes clasifica los resultados en tres zonas: Sostenible (verde), No Sostenible (amarillo) y Estado Fallido (rojo), lo que permite una evaluación rápida del impacto de las políticas y la dinámica del sistema.

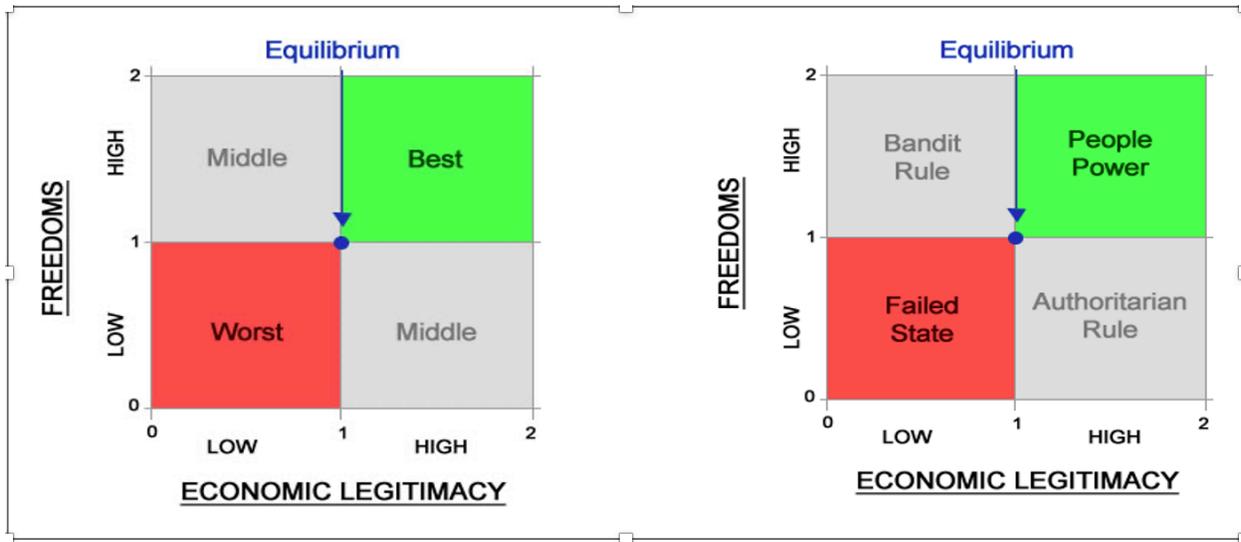


Figure 9: El Cuadrante Mágico de Resultados Sistémicos.

La imagen muestra las tres zonas clave del desempeño del sistema: en verde, la zona **Sostenible**, donde se logra equilibrio entre economía y ecología; en amarillo, la zona **No Sostenible**, donde una dimensión domina y pone en riesgo al sistema; y en rojo, la zona de **Estado Fallido**, donde colapsan tanto el bienestar económico como la salud del ecosistema.

### Indicador de Desempeño: Ecosystem Health (Salud del Ecosistema)

**Tipo:** Variable auxiliar

**Unidades:** Sin unidades (adimensional)

El componente **[Rice cultivation switch]** se define como (Add state) y se inicializa como true, no tiene dimensiones.

**Fórmula:**

$$\frac{([\text{Snake pop density ratio}] + [\text{Rice density ratio}] * \text{ifthenelse}([\text{Rice cultivation switch}], 1, 0))}{([\text{Rat pop density ratio}] * (1 + \text{ifthenelse}([\text{Rice cultivation switch}], 1, 0)))}$$

**Descripción:**

Este indicador representa la salud sistémica del ecosistema, comparando la densidad de componentes considerados beneficiosos (serpientes y, opcionalmente, cultivo de arroz) con la densidad de un componente perjudicial (ratas).

Cuando la variable **[Rice cultivation switch]** está en true, se incluye la densidad del arroz en el numerador, reconociendo su rol tanto ecológico como económico. Para mantener la coherencia en el balance del cálculo, el denominador se multiplica por 2 (usando la expresión  $(1 + \text{ifthenelse}([\text{Rice cultivation switch}], 1, 0))$ ) ya que hay dos componentes en el numerador.

Si **[Rice cultivation switch]** está en false, el numerador considera únicamente la densidad de serpientes, y el denominador no se ajusta. El resultado del cálculo es una razón adimensional:

- **Valores mayores a 1** indican un ecosistema saludable.
- **Valores menores a 1** sugieren deterioro o desequilibrio ecológico.

Para asegurar consistencia y normalización del modelo, el valor inicial del indicador (antes de aplicar cualquier política) se establece en **1**, reflejando un estado de equilibrio bajo condiciones normales.

## Indicador de Desempeño: Economic Welfare (Bienestar Económico)

**Tipo:** Variable auxiliar

**Unidades:** Sin unidades (adimensional)

**Fórmula principal:**

$$\text{Economic welfare} = [\text{TII}] / [\text{TCI}]$$

**Descripción:**

Este indicador evalúa la salud económica del sistema como la razón entre los ingresos totales normalizados (**[TII]**) y los costos o egresos totales normalizados (**[TCI]**). Si el valor es:

- **Mayor a 1** → el sistema genera beneficios económicos saludables.
- **Igual a 1** → el sistema está en equilibrio económico (estado de referencia o base).
- **Menor a 1** → hay un deterioro económico o situación de riesgo.

El objetivo del diseño del modelo es que, al inicio de la simulación (sin políticas activadas), este indicador tenga un valor igual a **1**, lo cual garantiza la normalización y coherencia de los resultados.

---

### *Cálculo de los Ingresos Totales Normalizados ([TII])*

**Fórmula:**

$$[\text{TII}] = (([\text{RI}]/\text{Fix}([\text{RI}])) + (([\text{SI}]/\text{Fix}([\text{SI}])) * \text{ifthenelse}([\text{Snake switch}],1,0))) / (1 + \text{ifthenelse}([\text{Snake switch}],1,0))$$

**Elementos que lo componen:**

- **[RI] = [Rice cultivation] \* [DR]**  
Ingresos por arroz cultivado
  - [DR] = 10 USD/tonelada de arroz
  - Unidades: US Dollars
- **[SI] = [Snake population] \* [DS]**  
Ingresos por productos y subproductos de serpientes
  - [DS] = 50 USD/serpiente
  - Unidades: US Dollars
- **[Snake switch]:** Variable lógica (true/false, inicializada como true) que activa o desactiva la inclusión de los ingresos derivados de las serpientes. También regula la estrategia de normalización.

**Nota:**

- Cuando Snake switch = false, solo se considera el arroz.

- Cuando Snake switch = true, se incluyen tanto arroz como serpientes, y el denominador ajusta proporcionalmente la normalización al considerar dos fuentes de ingreso.
- El resultado final de [TII] es adimensional.

### *Cálculo de los Costos Totales Normalizados ([TCI])*

#### **Fórmula:**

csharp

CopiarEditar

$$[TCI] = [CR] / \text{Fix}([CR])$$

#### **Donde:**

- **[CR] = [Rat population] \* [CI]**  
Costos por presencia de ratas (daños, pérdidas, control)
  - [CI] = 5 USD/rata
  - Unidades: US Dollars

#### **Resultado:**

- [TCI] también es adimensional, y su valor inicial es 1 bajo condiciones normales.

### *Variables económicas del modelo*

- **[TII] – Total Income Index**  
Índice de ingresos totales, normalizado y sin unidades. Integra ingresos por arroz y serpientes, ajustado según el estado de la variable Snake switch.
- **[TCI] – Total Cost Index**  
Índice total de costos, también normalizado y sin unidades. Representa los egresos económicos provocados por la población de ratas.
- **[RI] – Rice Income**  
Ingreso total por la venta de arroz, calculado como la producción de arroz multiplicada por el precio por tonelada.
- **[SI] – Snake Income**  
Ingreso total por la venta de productos y subproductos derivados de las serpientes, basado en su población y precio por unidad.
- **[DR] – Dollar per Rice Ton**  
Precio del arroz por tonelada. Valor constante: **10 USD/tonelada.**
- **[DS] – Dollar per Snake**  
Precio de mercado por serpiente o productos derivados. Valor constante: **50 USD/serpiente.**
- **[CR] – Cost by Rats**  
Costos totales derivados de la población de ratas. Se calcula multiplicando su población por el costo unitario.
- **[CI] – Cost per Rat**  
Costo estimado por cada rata en el sistema. Valor constante: **5 USD/rata.**
- **[Snake switch] – Snake Revenue Inclusion Switch**  
Variable de tipo lógica (true/false) que define si se incluyen (true) o no (false) los

ingresos por serpientes en el cálculo del indicador económico. También ajusta la normalización del índice de ingresos.

### Descripciones concisas (Español)

- **Bienestar Económico**  
Indicador sin unidades que evalúa el balance entre los ingresos totales normalizados y los costos totales normalizados. Valores mayores a 1 indican una economía saludable; menores a 1 reflejan problemas económicos.
- **Salud del Ecosistema**  
Indicador sin unidades que compara la densidad de especies benéficas (serpientes y opcionalmente arroz) con la densidad de especies nocivas (ratas). Valores mayores a 1 indican un ecosistema resiliente; menores a 1 sugieren desequilibrio ecológico.

### Bilingual Table – Economic Model Variables

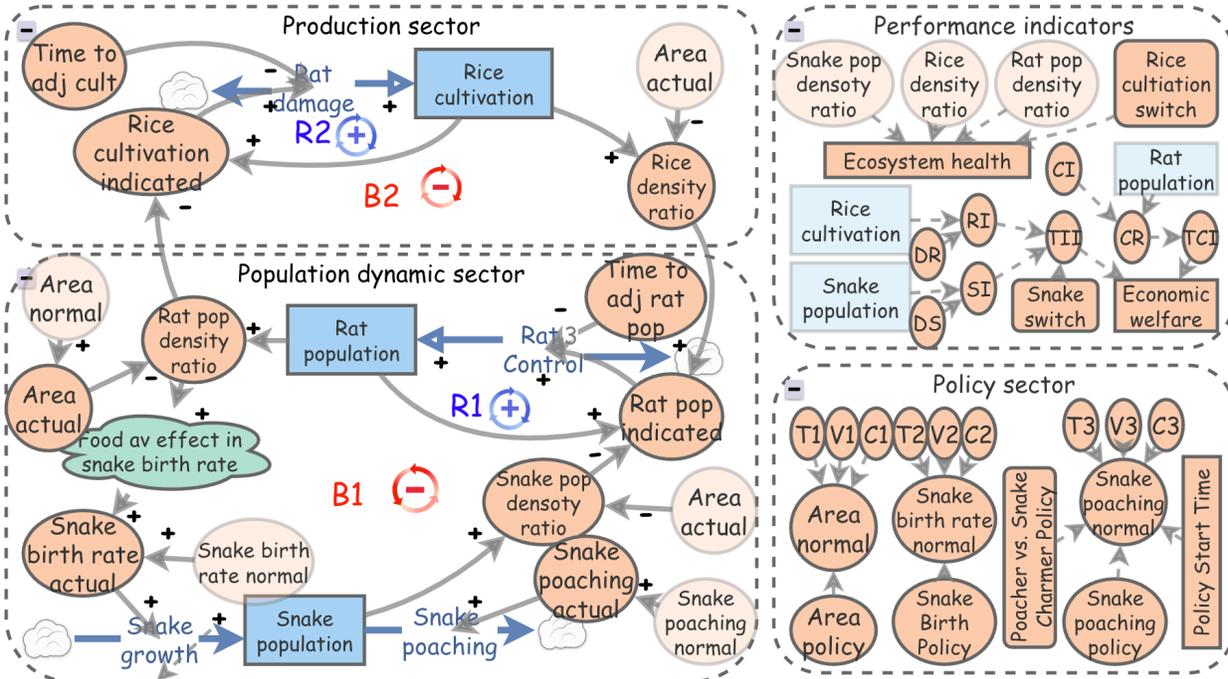
Variable	Description (English)	Descripción (Español)
[TII]	Total Income Index (normalized, dimensionless)	Índice de ingresos totales (normalizado, sin unidades)
[TCI]	Total Cost Index (normalized, dimensionless)	Índice de costos totales (normalizado, sin unidades)
[RI]	Rice Income = [Rice cultivation] × [DR]	Ingreso por arroz = [Cultivo de arroz] × [DR]
[SI]	Snake Income = [Snake population] × [DS]	Ingreso por serpientes = [Población de serpientes] × [DS]
[DR]	Price per ton of rice (10 USD/ton)	Precio por tonelada de arroz (10 USD/tonelada)
[DS]	Price per snake (50 USD/snake)	Precio por serpiente (50 USD/serpiente)
[CR]	Cost from rats = [Rat population] × [CI]	Costos por ratas = [Población de ratas] × [CI]
[CI]	Unit cost per rat (5 USD/rat)	Costo unitario por rata (5 USD/rata)
[Snake switch]	Includes snake income in total revenue (true/false)	Incluye ingresos de serpientes en el total (true/false)

# Modelo Sistémico de Gestión de Ecosistemas y Políticas Públicas

La imagen muestra el modelo completo integrado por cuatro sectores interconectados:

1. **Ecosistema biológico**, que simula las dinámicas entre ratas, serpientes y el cultivo de arroz.
2. **Producción y economía**, que representa ingresos y egresos derivados de las actividades del ecosistema.
3. **Políticas públicas**, donde se activan o desactivan estrategias de intervención para modificar comportamientos del sistema.
4. **Indicadores de desempeño**, que resumen los efectos del modelo en dos dimensiones clave: *salud del ecosistema* y *bienestar económico*.

Este modelo permite evaluar de manera integral cómo interactúan los actores del ecosistema y cómo las decisiones políticas afectan su sostenibilidad y equilibrio.



(Adapted from Saeed et. al. 2016)

Figure 10: Modelo integral: ciclos naturales, economía, políticas y resultados en un solo diagrama.

Modelo completo de dinámica de sistemas para la gestión de ecosistemas y políticas públicas. Se muestran los cuatro sectores interconectados: ecosistema biológico, economía y producción, políticas públicas e indicadores de desempeño. Esta integración permite analizar el impacto de diferentes decisiones sobre la sustentabilidad del sistema.

## Entre la Caza y el Encanto: El Dilema de la Intervención

En esta sección analizamos los resultados gráficos del modelo **Snake War** bajo distintos escenarios, cada uno definido por la activación o inacción de políticas específicas. Las políticas disponibles son:

1. **Snake Poaching Policy:** cuenta con su propio parámetro de inicio.
2. **Snake Birth Policy:** dispone de un tiempo de inicio independiente.
3. **Area Policy:** también tiene su propio momento de activación.
4. **Poacher vs Snake Charmer Policy:** se activa a partir de la variable global Policy start time.

Este enfoque nos permite evaluar el impacto de decisiones estratégicas en el comportamiento dinámico del sistema. A través de estos escenarios, identificamos patrones, transiciones y puntos críticos que afectan la sostenibilidad del ecosistema y el bienestar económico regional.

### Análisis Gráfico de Resultados: Claves para Decisiones Sistémicas

#### Introducción a las gráficas y su interpretación

Para evaluar el impacto de las distintas políticas aplicadas al modelo *Snake War*, se analizarán cuatro tipos de gráficas por escenario. Estas representan relaciones críticas entre componentes del sistema y revelan dinámicas clave que emergen como resultado de decisiones tomadas. Las gráficas son:

1. **Cultivo de arroz vs. Población de ratas**  
Muestra cómo la presión de las ratas impacta directamente la productividad agrícola.
2. **Indicadores de desempeño: Bienestar económico vs. Salud del ecosistema**  
Esta gráfica resume el comportamiento sistémico en dos dimensiones clave:
  - **Bienestar económico** (Economic welfare)
  - **Salud del ecosistema** (Ecosystem health)El espacio gráfico se divide en **cuatro zonas**:
  - **◆ Arriba a la derecha (zona azul):** Desarrollo **sustentable** (alto bienestar, alta salud del ecosistema).
  - **▼ Abajo a la izquierda (zona roja):** Estado **fallido** (colapso económico y ambiental).
  - **◆ Arriba a la izquierda / Abajo a la derecha (zonas amarillas):** Resultados **no sustentables** (se sacrifica un componente por el otro).Esta visualización permite **simplificar la lectura** y facilita la toma de decisiones informadas al visualizar claramente las consecuencias de cada política.
3. **Cultivo de arroz vs. Población de serpientes**  
Representa cómo el control biológico de las serpientes influye indirectamente en el cultivo, mediado por su efecto sobre las ratas.

#### 4. Población de serpientes vs. Población de ratas

Gráfica clásica **depredador-presa** que muestra ciclos, equilibrio o colapsos según la dinámica entre ambas especies.

Estas cuatro gráficas se presentarán agrupadas en una **sola tabla visual por escenario**, con un **caption integrador** y un **resumen descriptivo** que conecte los hallazgos del modelo con decisiones del mundo real, especialmente en el contexto de negocios, donde se enfrentan dilemas similares de corto vs. largo plazo, beneficios económicos vs. sustentabilidad.

### Escenario 1: Sin aplicar política alguna

#### Descripción del escenario:

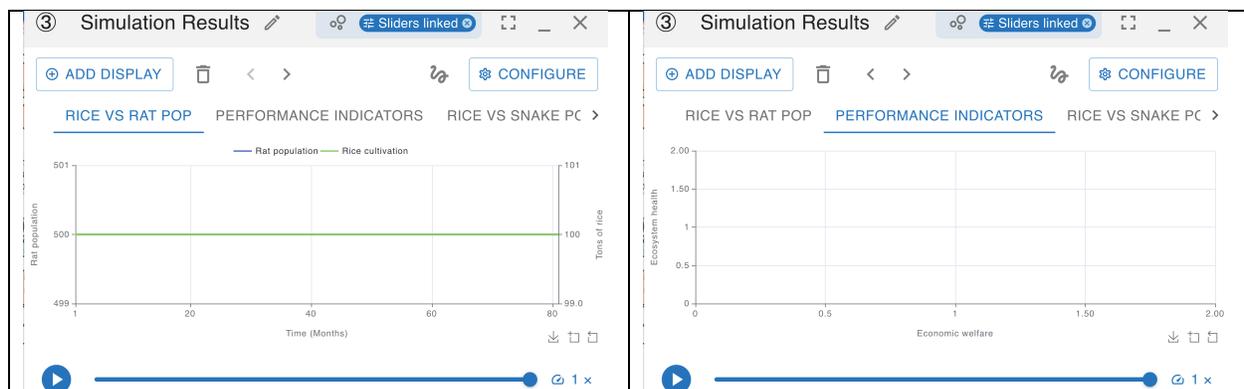
En este primer escenario, no se activa ninguna política durante toda la simulación. El sistema permanece en estado estable, lo cual es intencional, ya que el modelo fue concebido utilizando la técnica de **normalización**, donde los valores iniciales y las tasas están calibrados para generar un equilibrio dinámico.

#### Resultado gráfico:

Todos los niveles (stocks) y flujos se mantienen constantes a lo largo del tiempo. No se observan oscilaciones ni tendencias crecientes o decrecientes. Este comportamiento sirve como línea base o **escenario de referencia** para comparar los efectos de futuras intervenciones.

#### Interpretación:

Este escenario evidencia que, en ausencia de intervenciones, el sistema no presenta crisis ni mejoras. La estabilidad es consecuencia del balance natural entre nacimientos, muertes, cosechas y depredación, y pone en evidencia que cualquier perturbación vendrá de decisiones externas —es decir, de políticas aplicadas al sistema.



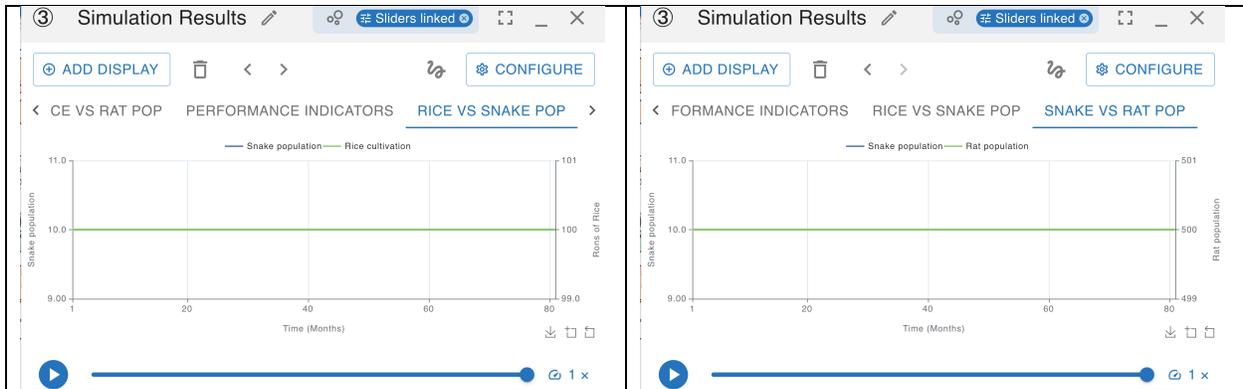


Figure 11: Impacto sistémico de las políticas en la dinámica serpiente-rata-arroz: cuatro perspectivas gráficas clave.

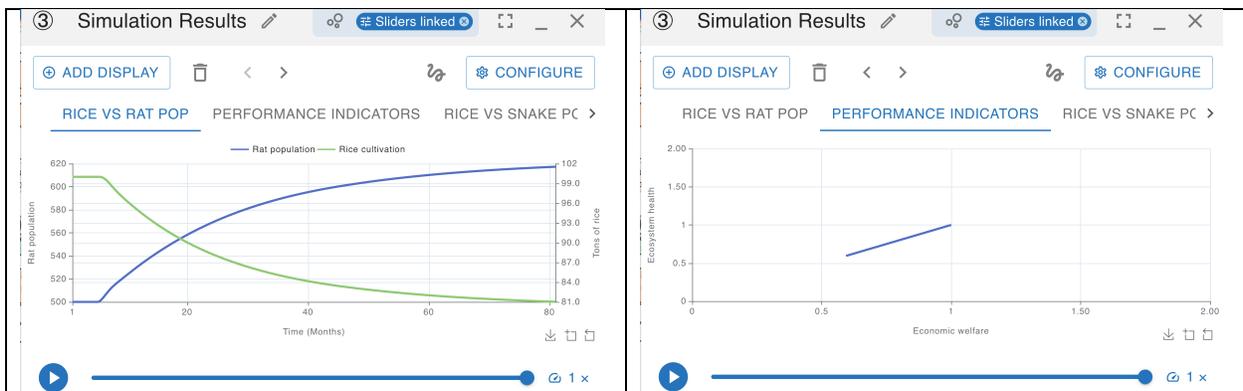
Cada escenario se analiza mediante cuatro visualizaciones: (1) cultivo de arroz vs. población de ratas, (2) bienestar económico vs. salud del ecosistema, (3) cultivo de arroz vs. población de serpientes, y (4) población de serpientes vs. población de ratas. Estas gráficas permiten observar cómo las políticas afectan el sistema en términos de productividad, control biológico y sostenibilidad a largo plazo.

## 🐍 Escenario 2: Activación de la política de caza furtiva de serpientes

### Snake Poaching Policy aplicada al mes 5 con un 20% de intensidad

#### 🧩 Descripción del escenario:

En este escenario se activa una política de caza furtiva de serpientes en el mes 5, reduciendo agresivamente su población. Esta decisión desestabiliza el equilibrio del ecosistema, eliminando el control natural sobre la población de ratas. Las consecuencias se reflejan rápidamente en la caída del cultivo de arroz, el crecimiento exponencial de roedores y el deterioro simultáneo de indicadores económicos y ecológicos.



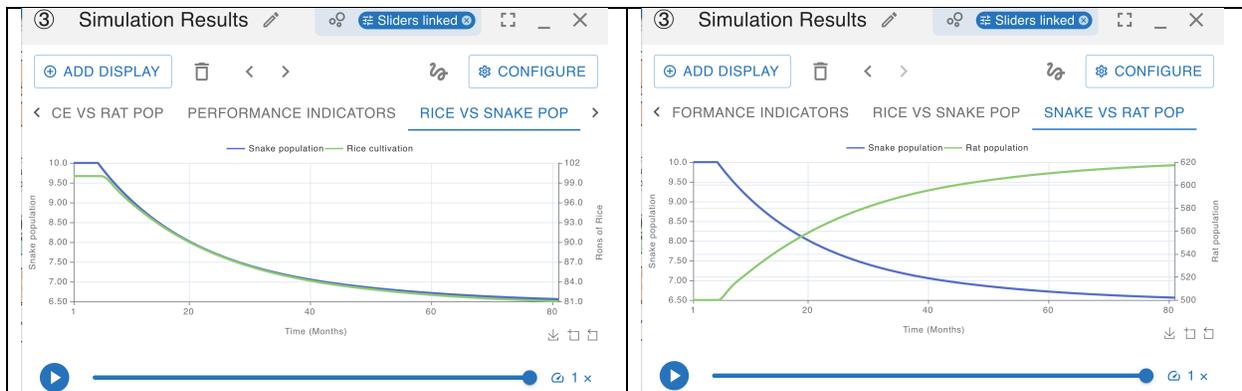


Figure 12: Colapso del sistema por intervención no sistémica: efectos de la caza furtiva de serpientes.

Las gráficas muestran cómo la eliminación de depredadores clave (serpientes) conduce al auge de las ratas, la caída del cultivo de arroz, y una crisis multidimensional que termina en el cuadrante de Estado Fallido del sistema.

### Resumen gráfico del escenario: Activación de la política de caza furtiva de serpientes en el mes 5 (20%)

#### Gráfica

##### 1. Rice cultivation vs Rat pop

##### 2. Economic welfare vs Ecosystem health

##### 3. Rice cultivation vs Snake pop

##### 4. Snake pop vs Rat pop

#### Descripción del comportamiento observado

El arroz cae bruscamente a medida que la población de ratas se dispara sin control.

El sistema se desplaza al cuadrante inferior izquierdo, representando un estado fallido.

Ambas variables colapsan: sin serpientes, el arroz también sufre debido al descontrol del ecosistema.

La población de serpientes se reduce rápidamente; la de ratas crece exponencialmente.

### Lecciones para el mundo empresarial

El Escenario 2 revela los riesgos de aplicar **políticas reactivas y reduccionistas** sin considerar las interdependencias del sistema. Esta situación tiene paralelos directos en el mundo de los negocios:

#### Analogías empresariales:

##### 1. Despedir talento clave sin evaluar efectos secundarios

Una empresa elimina un área o equipo clave para reducir costos (como eliminar a las "serpientes"), pero esto deja sin control problemas estructurales (como las "ratas") que empiezan a crecer: errores, desorganización, pérdida de calidad, desmotivación general.

##### 2. Eliminar controles o regulaciones internas

Empresas que relajan controles para "agilizar procesos" pueden verse inundadas de errores, fraudes o desvíos de recursos. El costo de no tener esos "depredadores naturales" puede ser el colapso interno.

### 3. Reducir inversiones en mantenimiento preventivo o ciberseguridad

Ahorrar en prevención (análogo a cazar serpientes) puede derivar en crisis cuando surgen problemas mayores que antes eran contenidos.

### 4. Estrategias comerciales que eliminan canales o aliados clave

Al eliminar socios estratégicos o distribuidores por conflictos inmediatos, la empresa puede perder capacidad de respuesta, penetración de mercado o incluso reputación, dejando espacio a competidores ("las ratas").

## 🔥 Escenario 3: Ampliar sin transformar acelera el colapso

### 📖 Descripción de la sección:

En este escenario se activan simultáneamente dos políticas en el mes 5:

- **Snake Poaching Policy** al 20%
- **Area Policy** con una expansión del 20% del área de cultivo de arroz.

La intención de aumentar la producción ampliando el área cultivada fracasa estrepitosamente. La lógica lineal —más tierra equivale a más arroz— ignora las dinámicas sistémicas del ecosistema. La eliminación de serpientes rompe el equilibrio ecológico y permite que la población de ratas siga creciendo sin control, arrasando los nuevos cultivos. Así, el sistema colapsa incluso más rápido que en el escenario anterior.

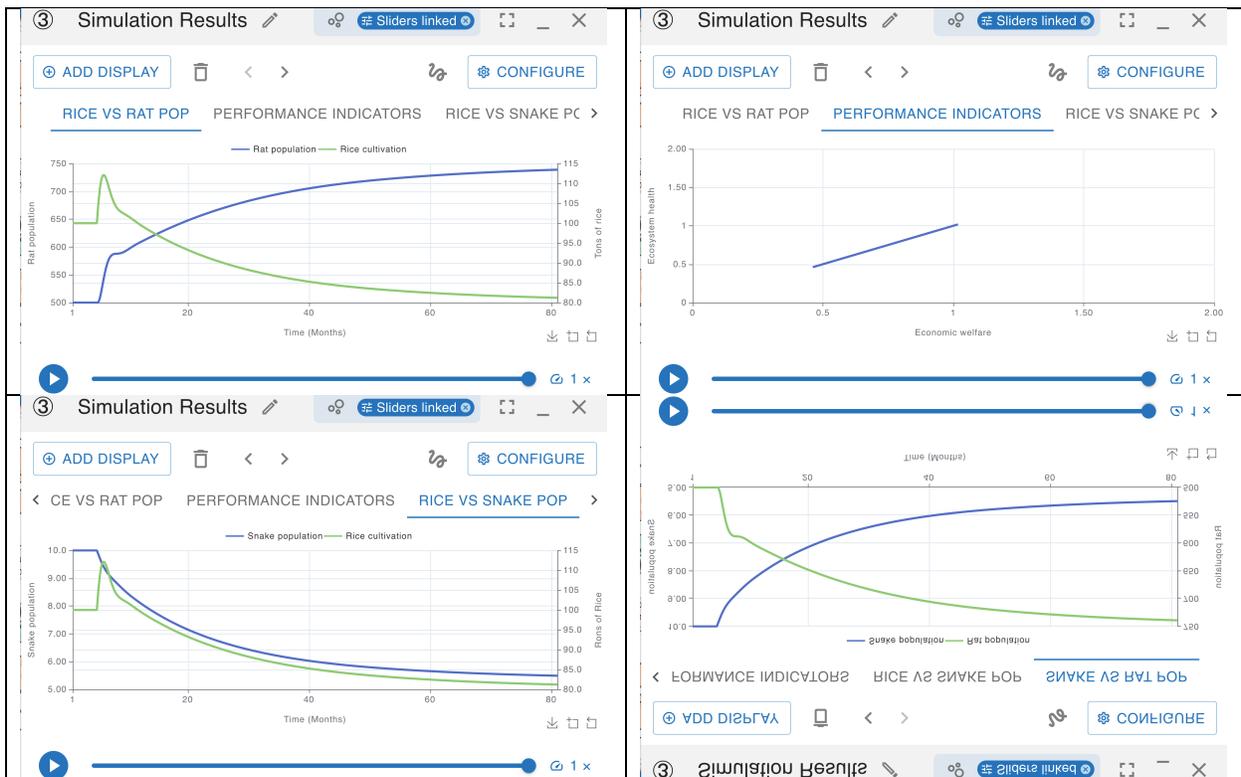


Figure 13: Más área, sin control estructural, acelera el colapso.

Este escenario muestra cómo atacar los síntomas visibles —como sembrar más tierra— sin intervenir las causas estructurales —como el equilibrio depredador-presa— no solo no resuelve el problema, sino que acelera el colapso del sistema.

### Tabla resumen gráfica del Escenario 3

#### Políticas activadas:

- **Snake Poaching Policy:** activa en mes 5 al 20%
- **Area Policy:** activa en mes 5 al 20%

N.º Gráfica	Descripción del comportamiento observado	Interpretación sistémica
1	<b>Cultivo de arroz vs población de ratas</b> El cultivo de arroz disminuye mientras que la población de ratas crece	Mayor superficie sembrada sin control de ratas intensifica el problema, no lo resuelve
2	<b>Indicadores de desempeño</b> Se acentúa el colapso económico y ecológico: ambos indicadores caen	La combinación de políticas superficiales lleva al sistema directo a un estado fallido
3	<b>Cultivo de arroz vs población de serpientes</b> Ambos indicadores caen simultáneamente	La caza furtiva reduce los depredadores y el área extra no compensa la pérdida estructural
4	<b>Población de serpientes vs población de ratas</b> Las serpientes colapsan y las ratas se disparan	El sistema pierde balance: se debilita el control natural de plagas

### Ejemplo empresarial para conectar con la realidad:

En el mundo empresarial, esto equivale a una empresa que, al enfrentar baja rentabilidad, decide **expandirse abriendo más sucursales o aumentando producción**, sin haber resuelto problemas estructurales como **deficiencias operativas, mal servicio al cliente o productos sin valor diferencial**. El resultado: **mayores costos, pérdida de control operativo, y una quiebra más rápida**.

#### Ejemplo realista:

Una cadena de restaurantes con mala calidad y mal servicio abre más sucursales creyendo que el volumen resolverá sus finanzas. Pero más clientes insatisfechos solo amplifican los problemas, queman reputación, y aceleran la caída del negocio.

## Escenario 4 – Encantadores de Serpientes: El sistema alcanza la zona sostenible

### Descripción del escenario:

Este escenario activa dos políticas:

- **Snake Poaching Policy** al 20% en el mes 5 (como en escenarios anteriores), lo que inicialmente provoca un deterioro del sistema.
- **Poacher vs Snake Charmer Policy**, activada en el **mes 35** mediante la variable **Policy Start Time**. Esta política cambia el comportamiento de los actores, reduciendo la caza furtiva mediante incentivos estructurales, sociales o económicos.

A partir de la intervención de los **encantadores de serpientes**, el sistema comienza a recuperar su equilibrio. Los gráficos muestran una mejora significativa y sostenida.

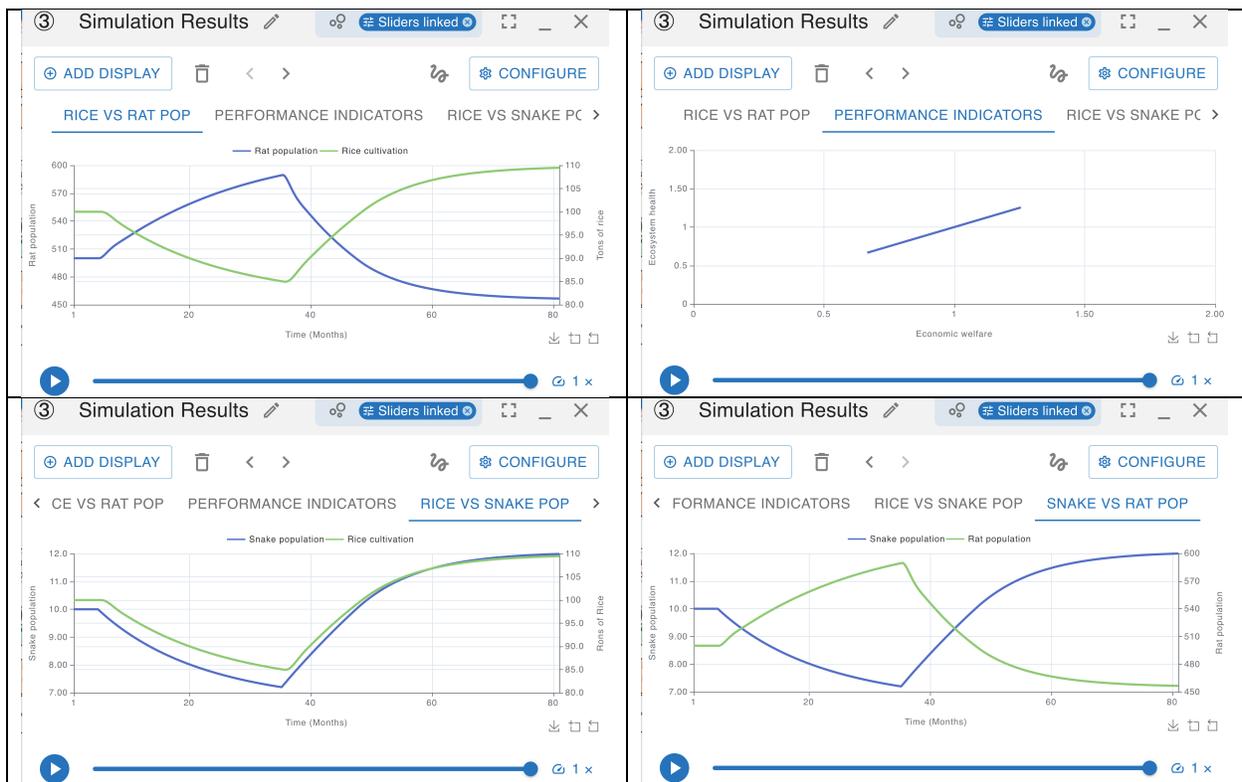


Figure 14: Encantadores de serpientes restauran el balance: economía y ecología se alinean hacia la sostenibilidad.

## Tabla resumen expandida – Escenario 4

### **Caza furtiva de serpientes (20%) desde el mes 5 + Política de encantadores de serpientes desde el mes 35**

Este escenario muestra un **punto de inflexión en el comportamiento del sistema**. Entre los **meses 5 y 35**, el sistema colapsa en un **estado fallido**, con caída en la producción de arroz, explosión de ratas y daños ecológicos severos debido a la caza furtiva. Sin embargo, a partir del **mes 35**, la implementación de la **Política de Encantadores de Serpientes** provoca un cambio profundo en la dinámica del sistema.

Aunque la caza furtiva continúa (reflejando cómo muchas veces las prácticas ilegales persisten en la realidad), la **intervención sistémica de los encantadores de serpientes** —actuando como agentes culturales o incentivos estructurales— permite una **recuperación generalizada**. El sistema se transforma hacia un estado de **sustentabilidad a largo plazo**.

<b>Nº Gráfica</b>	<b>Comportamiento observado</b>	<b>Interpretación sistémica</b>
1 <b>Cultivo de arroz vs población de ratas</b>	<b>Meses 5–35:</b> el arroz cae, las ratas florecen → <b>Después del mes 35:</b> el arroz se estabiliza, las ratas bajan	El colapso inicial se revierte con el regreso del depredador y mayor equilibrio sistémico
2 <b>Indicadores de desempeño</b>	<b>Meses 5–35:</b> el sistema cae al cuadrante fallido → <b>Después del mes 35:</b> se mueve al cuadrante superior derecho	El cambio estructural permite equilibrar economía y ecología— se alcanza la zona sustentable
3 <b>Arroz vs población de serpientes</b>	Las serpientes se recuperan, la producción de arroz mejora después del mes 35	La presencia controlada del depredador protege los cultivos sin desestabilizar el sistema
4 <b>Serpientes vs ratas</b>	La población de serpientes sube; las ratas se controlan eficazmente	Se restablece el ciclo depredador-presa, clave para la estabilidad alimentaria y ecológica a largo plazo

### **Conexión con el mundo empresarial:**

Este estudio de caso ilustra el poder transformador del pensamiento sistémico para descubrir y abordar las causas profundas de los problemas complejos. Actuar solo sobre los síntomas visibles—como aumentar la inversión, expandir operaciones o reaccionar ante crisis—puede ofrecer alivios temporales, pero rara vez genera soluciones duraderas. La verdadera sustentabilidad emerge cuando se rediseñan las estructuras y políticas invisibles que rigen el comportamiento del sistema.

La intervención del “Encantador de serpientes” representa una metáfora empresarial poderosa: ante mercados inestables, problemas de productividad o conflictos organizacionales, no basta con atacar lo evidente. Las empresas que logran prosperar a largo plazo son aquellas que transforman sus reglas internas, culturas operativas y esquemas de incentivos para alinear resultados económicos con bienestar organizacional y responsabilidad social.

Este caso recuerda a líderes y tomadores de decisiones que las soluciones reales no surgen de apagar fuegos, sino de encender la comprensión sistémica del terreno que los origina.

## Conclusión

Este ejemplo demuestra el poder del pensamiento sistémico para revelar y corregir las verdaderas raíces de un problema. Atender únicamente lo visible—como ampliar hectáreas o cazar serpientes—no basta; solo al reformar las políticas latentes se logran resultados sostenibles, tanto económicos como ecológicos. La transformación con “Encantadores de Serpientes” ilustra cómo intervenciones inteligentes en la estructura del sistema pueden restaurar el equilibrio y garantizar prosperidad a largo plazo, incluso cuando persisten comportamientos culturales adversos.

## Referencias

- **Systems thinking metaphors for illuminating fundamental policy dilemmas**
- Khalid Saeed
- Professor of Economics and System dynamics Social Science and Policy Studies Dept. Worcester Polytechnic Institute, USA
- March 3, 2016 © 2016, Khalid Saeed