



Estudio de caso

# MODELING OF HILSA FISH POPULATION IN BANGLADESH

**Presentado por:**

Jaime Darley Angulo Tenorio  
John Alejandro Pastor Sandoval  
Juan Camilo Vergara Tao  
Juan Diego Velásquez Pinzón

# AGENDA

- |           |                          |           |                             |
|-----------|--------------------------|-----------|-----------------------------|
| <b>01</b> | Objetivos                | <b>05</b> | Diagrama de Bucles Causales |
| <b>02</b> | Contexto y Justificación | <b>06</b> | Diagrama Stock–Flow         |
| <b>03</b> | Alcance del Modelo       | <b>07</b> | Validación del Modelo       |
| <b>04</b> | Hipótesis Dinámica       | <b>08</b> | Escenarios de Simulación    |

# AGENDA

- 09** Resultados de los Escenarios
- 10** Análisis de Políticas
- 11** Conclusiones
- 12** Referencias

# Objetivos

**Objetivo General:** Desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que explique y prediga la evolución de la población de hilsa en Bangladesh.

# Objetivos

## Objetivos específicos

- Comprender la dinámica poblacional: identificar los procesos de reclutamiento, mortalidad natural y pesca que regulan la biomasa.
- Construir y validar el modelo: implementar el diagrama stock-flow en AnyLogic y ajustarlo con datos históricos de capturas.
- Analizar escenarios de manejo: simular políticas de veda estacional y límites de esfuerzo para evaluar sostenibilidad.
- Proponer recomendaciones: basadas en los resultados, sugerir estrategias pesqueras que maximicen rendimiento sin colapsar la población.

# Contexto y Justificación

## Contexto socio-económico

### Importancia de la hilsa (*Tenualosa ilisha*)

- Contribuye al 50–60 % de la captura mundial de la especie en Bangladesh, y sustenta el 20–25 % en Myanmar e India .
- Fuente clave de proteína para millones de familias ribereñas; motor económico de pesquerías artesanales.

### Tendencias históricas

- Capturas de hilsa en Bangladesh han caído alrededor de un 19 % en los últimos años; de continuar, podría volverse especie rara

# Contexto y Justificación

## Problemas y retos

- **Sobrepesca de juveniles y adultos**
  - Pérdida de juveniles en redes de malla pequeña; mortalidad combinada (natural + pesca) en fase larval y juvenil muy alta.
  -
- **Impactos sociales y ambientales**
  - Pérdida de ingresos para comunidades locales, riesgo de colapso ecosistémico.
  -
- **Necesidad de políticas**
  - Vedas mal sincronizadas con ciclos reproductivos, falta de límites claros de esfuerzo de pesca, escasa participación comunitaria.

# Alcance del Modelo

- **Fases de vida incluidas**
  - Huevos en nido
  - Larvas
  - Juveniles
  - Adultos (primera y segunda temporada en mar)
  - Adultos migrantes y en desove
- **Horizonte temporal**
  - Simulación a 10 años (120 meses) con paso de integración mensual
- **Alcance geográfico**
  - Ríos principales de Bangladesh: Ganges y Meghna (zonas de desove)
- **Variables clave**
  - Biomasa (kg) en cada fase
  - Esfuerzo de pesca (ratio de captura)
  - Tasas de mortalidad natural y por pesca



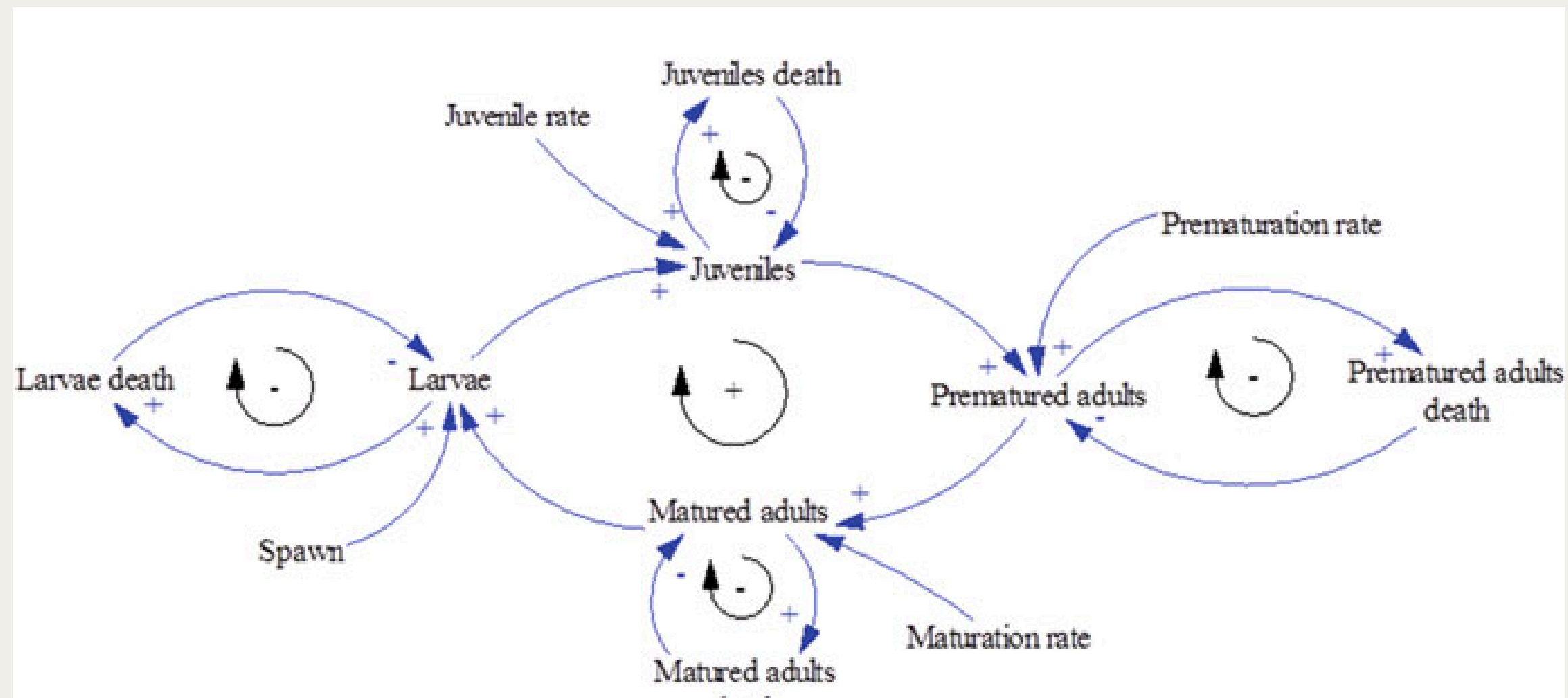
# Alcance del Modelo

- **Límites y supuestos**
  - Población cerrada (no inmigración/emigración externa)
  - Parámetros constantes dentro de cada “escenario” (p.ej. fracción de pérdida mensual fija)
  - Distribución de tallas homogénea dentro de cada stock
- **Diagrama Stock–Flow resumen**
  - Incluye niveles (stocks) y flujos (flows) principales:
    - Egg deposition, Larva production, Maturation, Harvesting, Natural mortality

# Hipótesis Dinámica - Descripción Verbal

- **Proceso de reclutamiento**
  - “A mayor biomasa adulta, mayor número de huevos depositados → más larvas y juveniles.”
- **Efecto de la mortalidad natural**
  - “Cada fase (larva, juvenil, adultos) sufre pérdidas por depredación y condiciones ambientales.”
- **Impacto de la pesca**
  - “El esfuerzo de pesca reduce directamente la biomasa juvenil y adulta, retroalimentando negativamente el crecimiento poblacional.”
- **Bucles de realimentación**
  - Reforzador (R1): reproducción → más adultos → más reproducción.
  - Balanceadores (B1–B4): mortalidad y captura en cada etapa frenan la expansión poblacional.

# Diagrama de Bucles Causales



## Diagrama de Bucles Causales

- Muestra bucle R1 (reproducción) con “+” en todas las flechas.
- Señala bucles B1–B4 (mortalidad natural y pesca) con “–”.
- **Notas al pie:**
  - R1: fecundidad y maduración positiva.
  - B1: mortalidad larval; B2: mortalidad juvenil; B3: pesca en adultos jóvenes; B4: pesca en adultos migrantes.



# Diagrama Stock–Flow

## STOCKS (NIVELES):

- Huevos en nido
- Larvas
- Juveniles
- Adultos de primer año en mar
- Adultos de segundo año (migrantes)
- Adultos en zona de desove

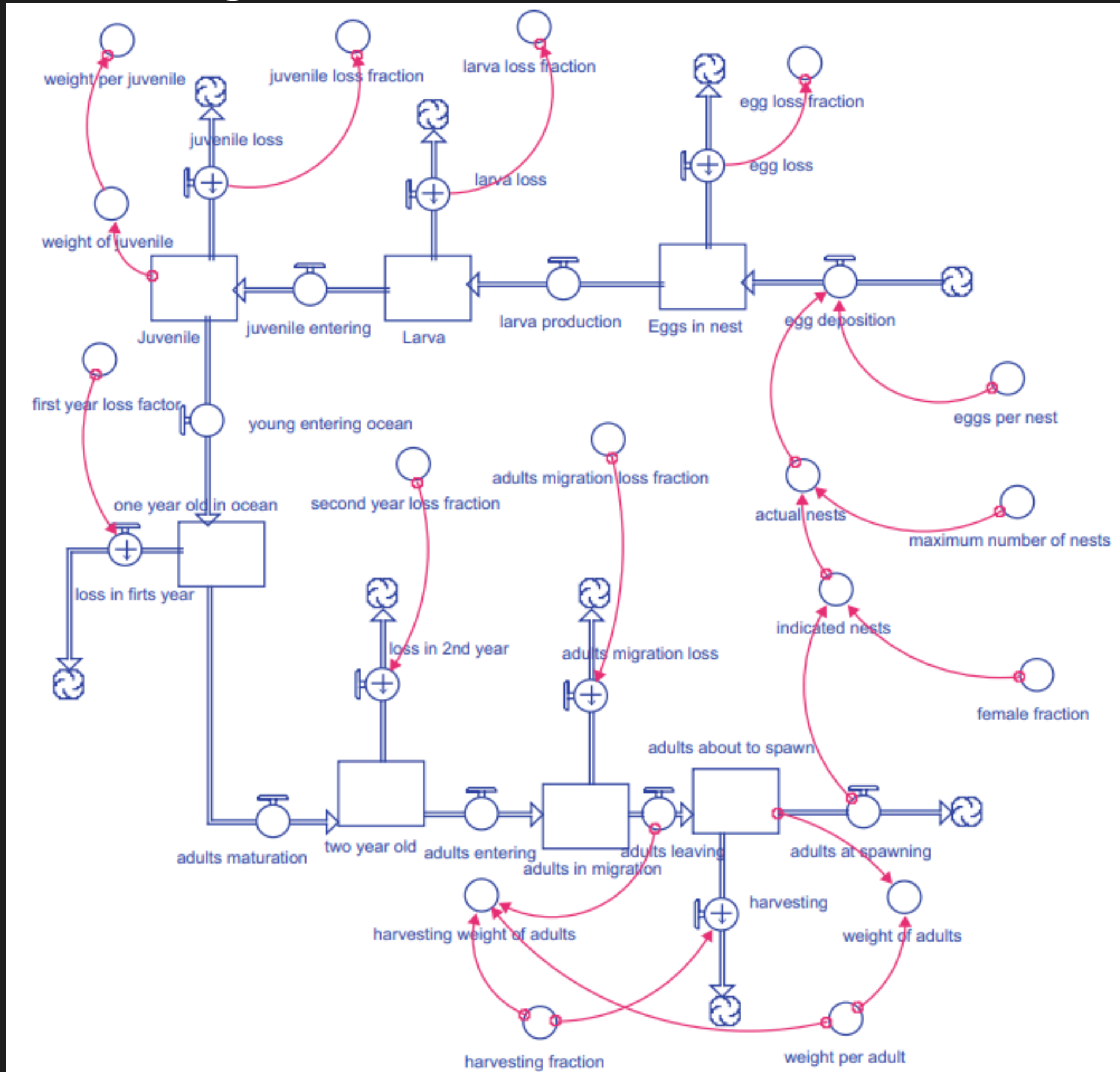
## FLOWS (FLUJOS):

- Deposición de huevos → Huevos
- Producción de larvas → Larvas
- Maduración → Juveniles → Adultos
- Mortalidad natural en cada etapa
- Pesca (harvesting) en Juveniles y Adultos

## CONVERTERS (PARÁMETROS):

- Tasa de fecundidad (huevos/nido)
- Fracción de pérdida larval, juvenil, migratoria
- Fracción de captura (esfuerzo de pesca)
- Peso medio por individuo

# Diagrama Stock-Flow



# Validación del Modelo – Enfoque y Pruebas

- **Tests de Estructura**

- **Verificación de Ecuaciones:** comparar cada ecuación del modelo con la descripción cualitativa del sistema real.
- **Verificación de Parámetros:** comprobar que valores (p.ej. huevos/nido, fracciones de pérdida) coinciden con estudios de campo y literatura .
- **Pruebas de Consistencia Dimensional:** asegurar que unidades LHS = RHS en todas las ecuaciones.
- 

- **Tests de Comportamiento**

- **Reproducción del Patrón Histórico:** comparar la tendencia simulada de capturas vs. datos reportados. Enfocarse en la forma de la curva más que en valores puntuales .
- **Prueba de Condición Extrema:** verificar que el modelo responde lógicamente ante escenarios límite (p.ej. destrucción de hábitat).
- **Prueba de Sensibilidad:** analizar cómo varía el comportamiento ante cambios plausibles en parámetros críticos (huevos por nido, pérdida migratoria).

# Validación del Modelo Resultados Clave

- **Condición Extrema**

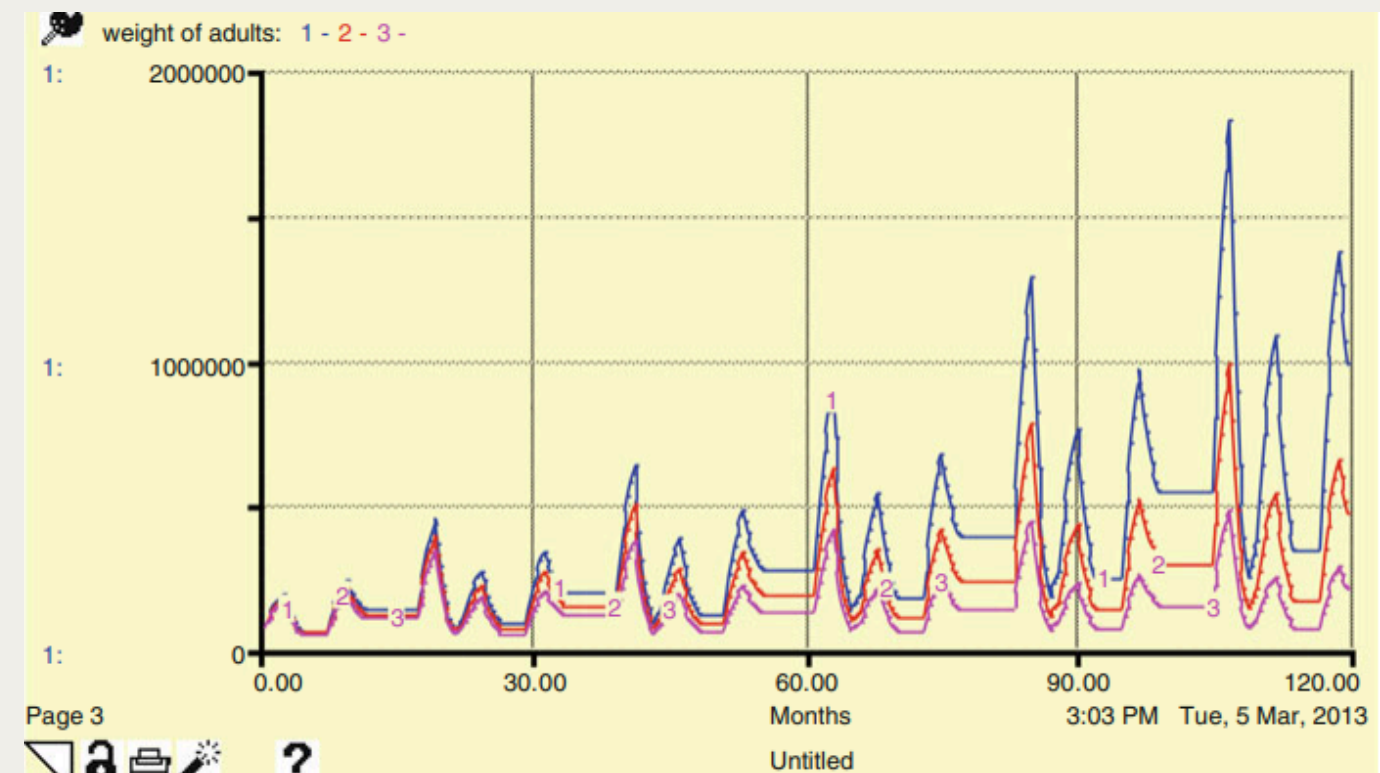
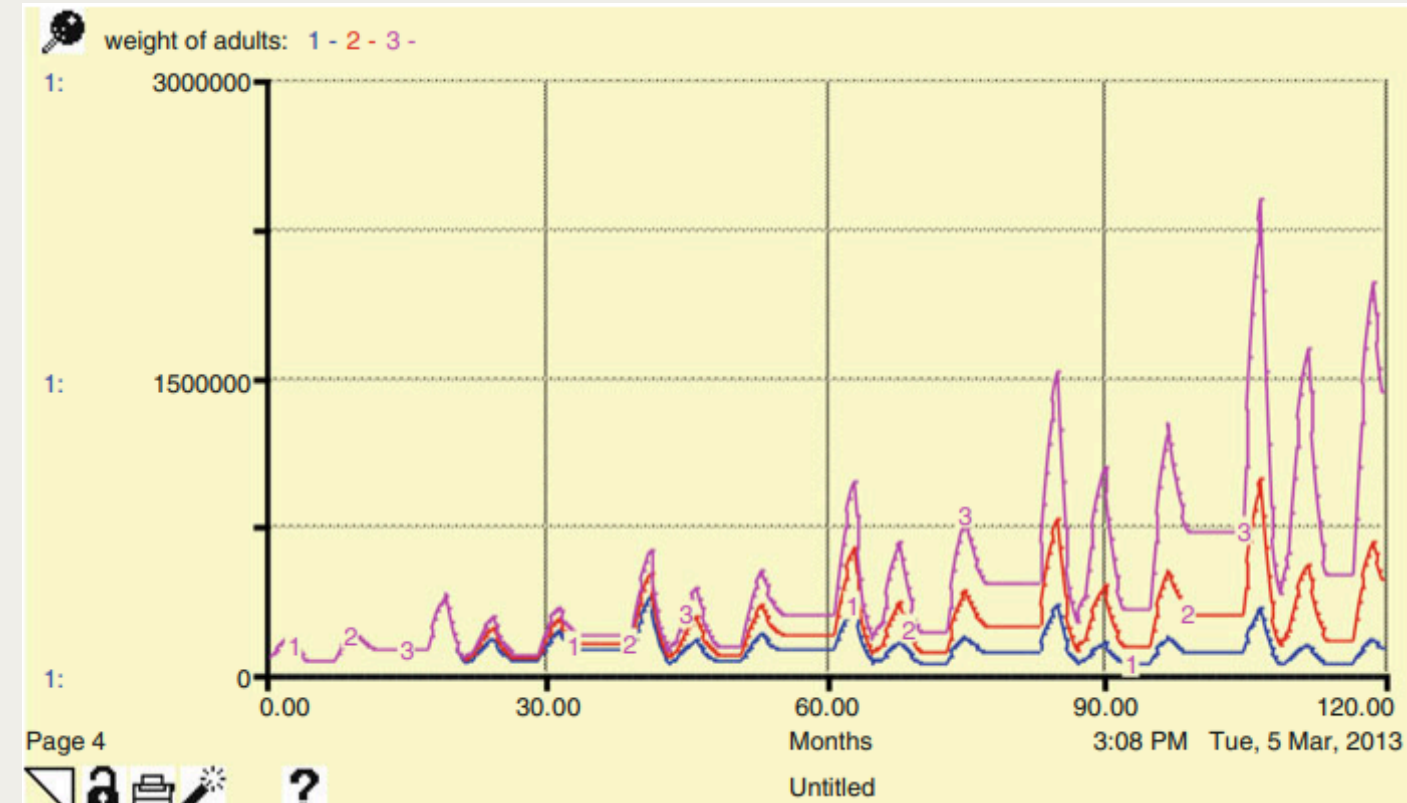
- **Escenario:** destrucción total de zonas de desove (huevos/nido = 0).
- **Resultado:** desaparición de juveniles en ~10 años y de adultos en ~20 años. Coincide con la expectativa realista de colapso poblacional.





# Validación del Modelo Resultados Clave

- **Sensibilidad a Parámetros Críticos**
  - **Huevos por nido:** curvas de biomasa adulta para valores de 150 000, 2 000 000 y 250 000 huevos .
  - **Pérdida en migración:** comparar escenarios con fracciones de pérdida de 0.15, 0.25 y 0.35
  -



# Validación del Modelo Resultados Clave

- **Reproducción del Referente Histórico**

- Gráfica “observado vs. simulado” de capturas de hilsa (datos de Mome & Arnason 2007, BBS 2012).
- Métrica de ajuste:  $R^2$ , RMSE, MAPE; enfatizar la concordancia de patrones más que de valores exactos .

- **Conclusión de Validación**

- El modelo refleja plausiblemente la dinámica real de la hilsa, pasa pruebas de estructura, comportamiento y extremo, y es sensible a parámetros clave, lo que refuerza su credibilidad para análisis de políticas.

## Escenarios de Simulación

- **Objetivo:** Evaluar el efecto de distintas estrategias de manejo sobre la biomasa y las capturas de hilsa.

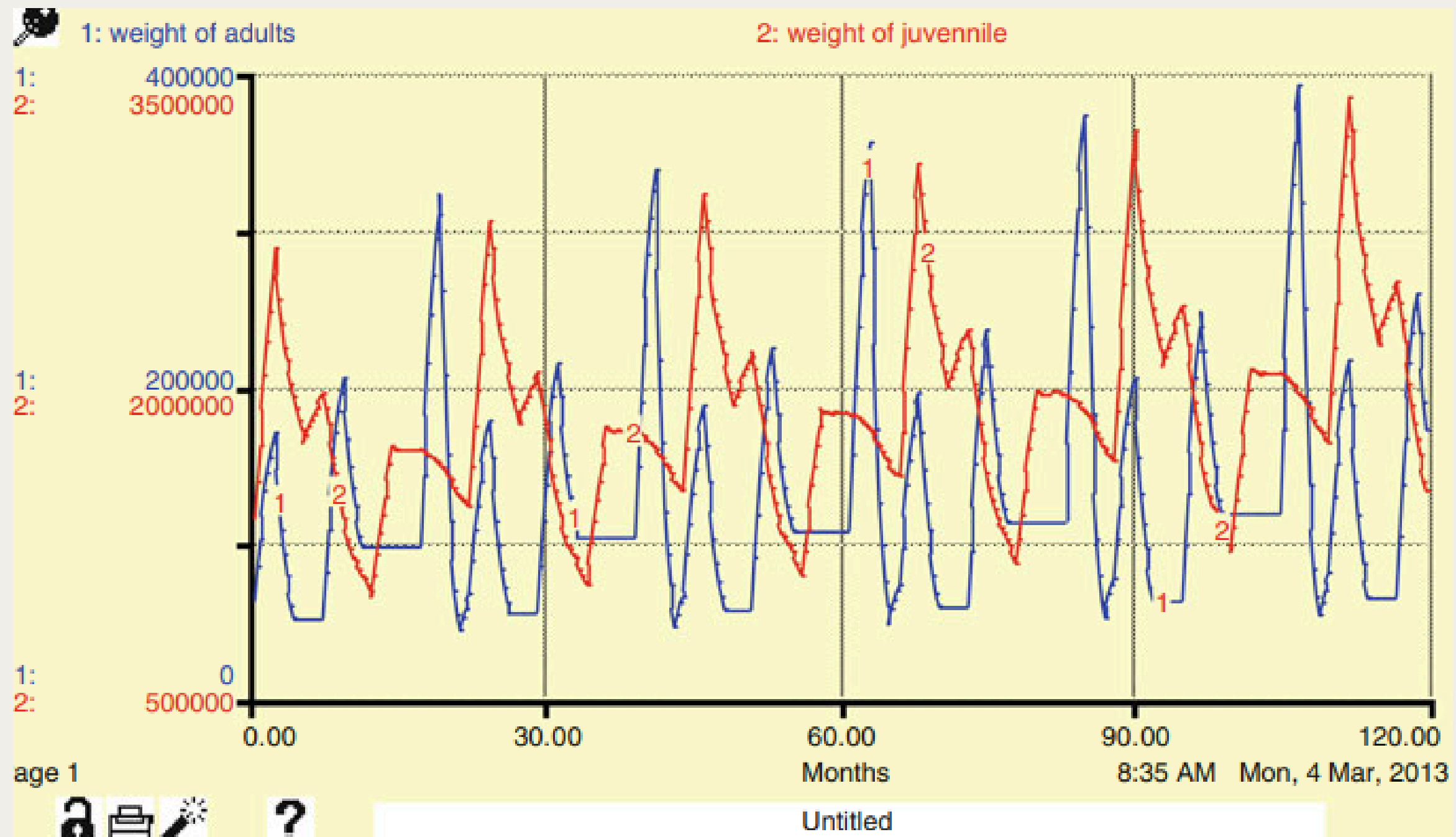
### Escenario 1 – Base (Sin Regulación)

- Fracción de captura de adultos: 0.8
- Fracción de pérdida de juveniles: 0.95
- Representa la situación actual de pesca intensiva y sin vedas.

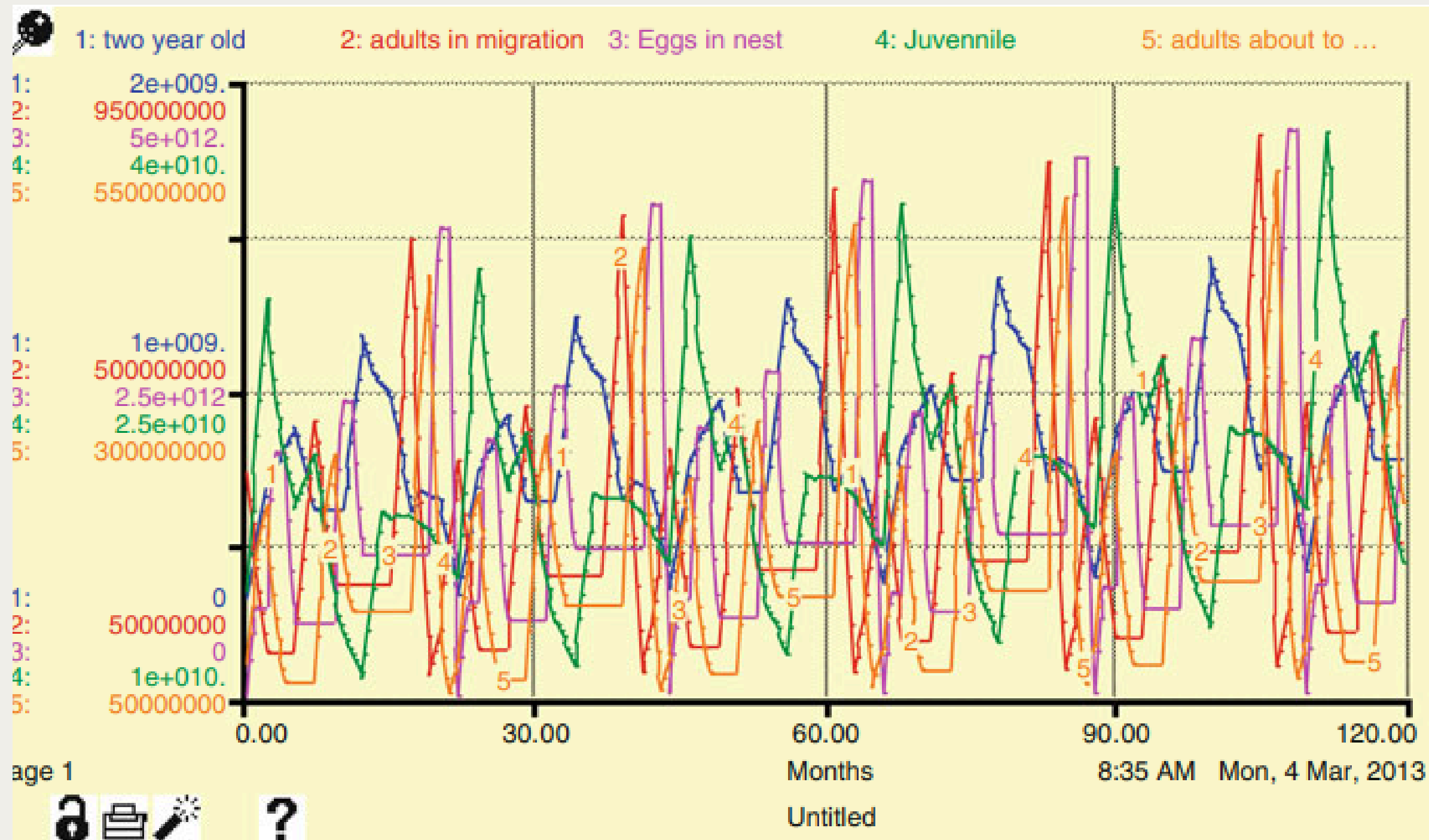
### Escenario 2 – Aumento de la Pérdida Juvenil

- Fracción de pérdida de juveniles: 0.9
- Simula aumento del uso de redes ilegales de malla fina.

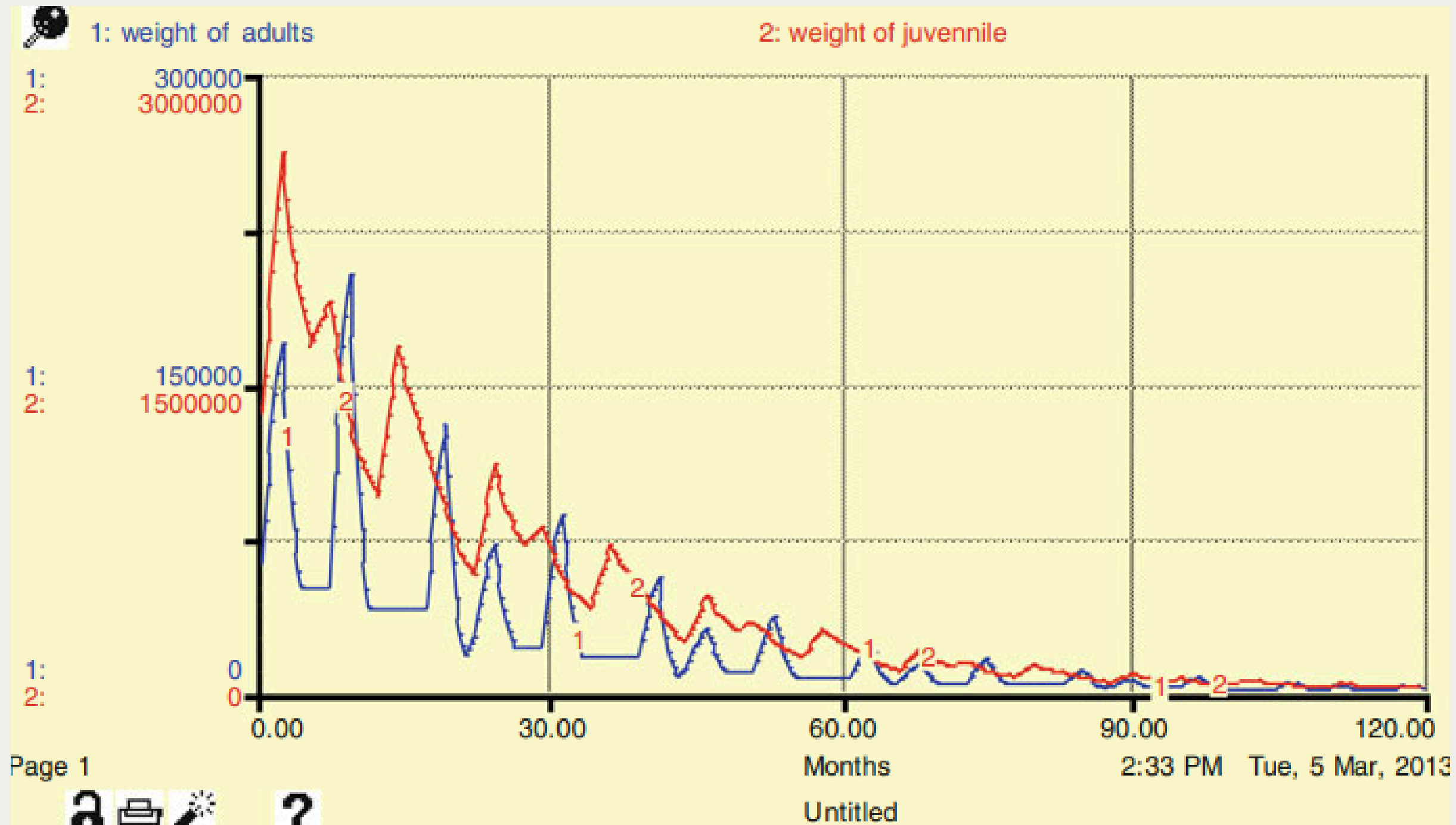
# Resultado Escenario 1



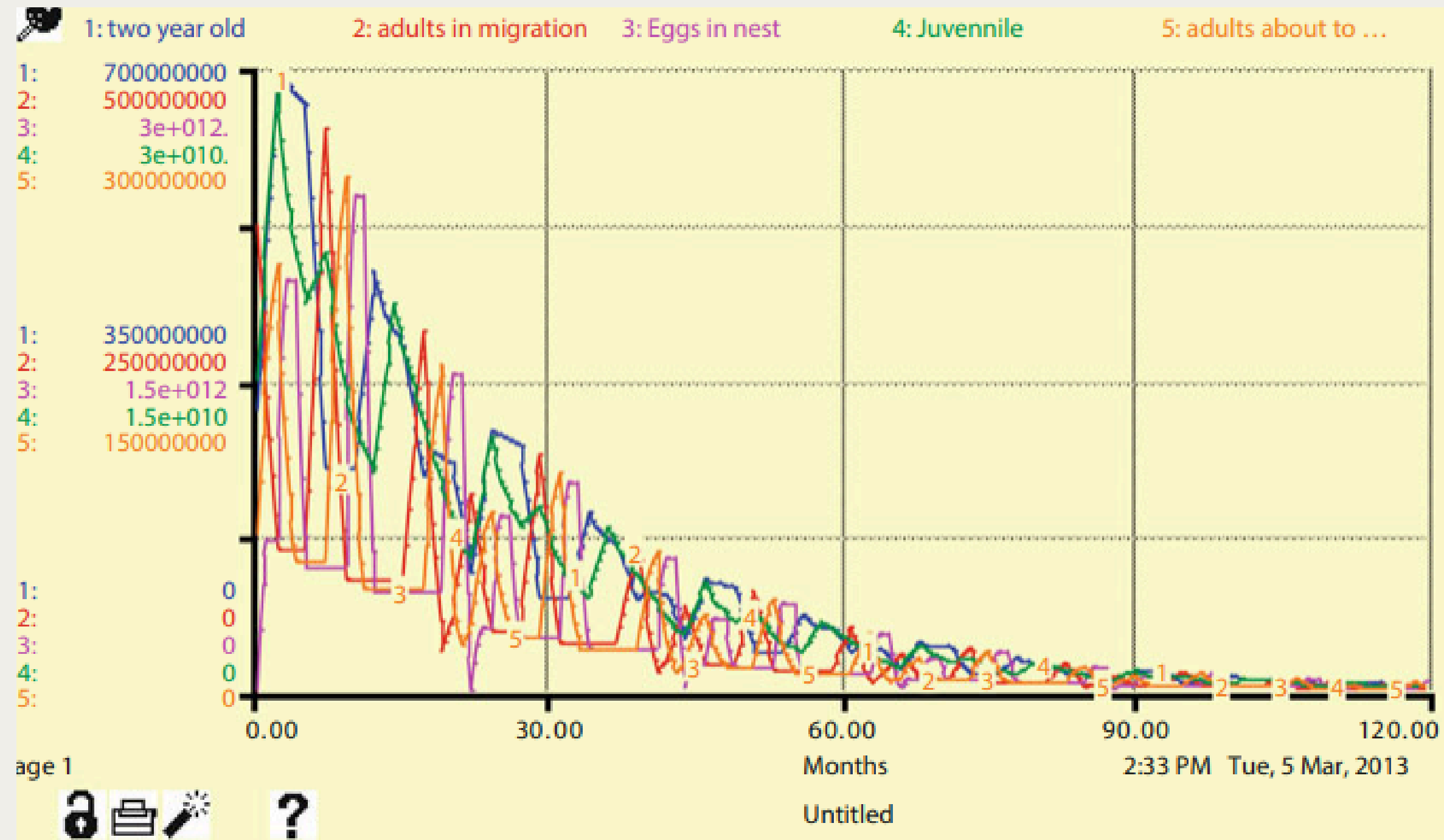
# Resultado Escenario 1



# Resultados de los Escenarios



# Resultado Escenario 2



## Escenarios de Simulación

### Escenario 3 – Restricción de Captura en Adultos Migrantes

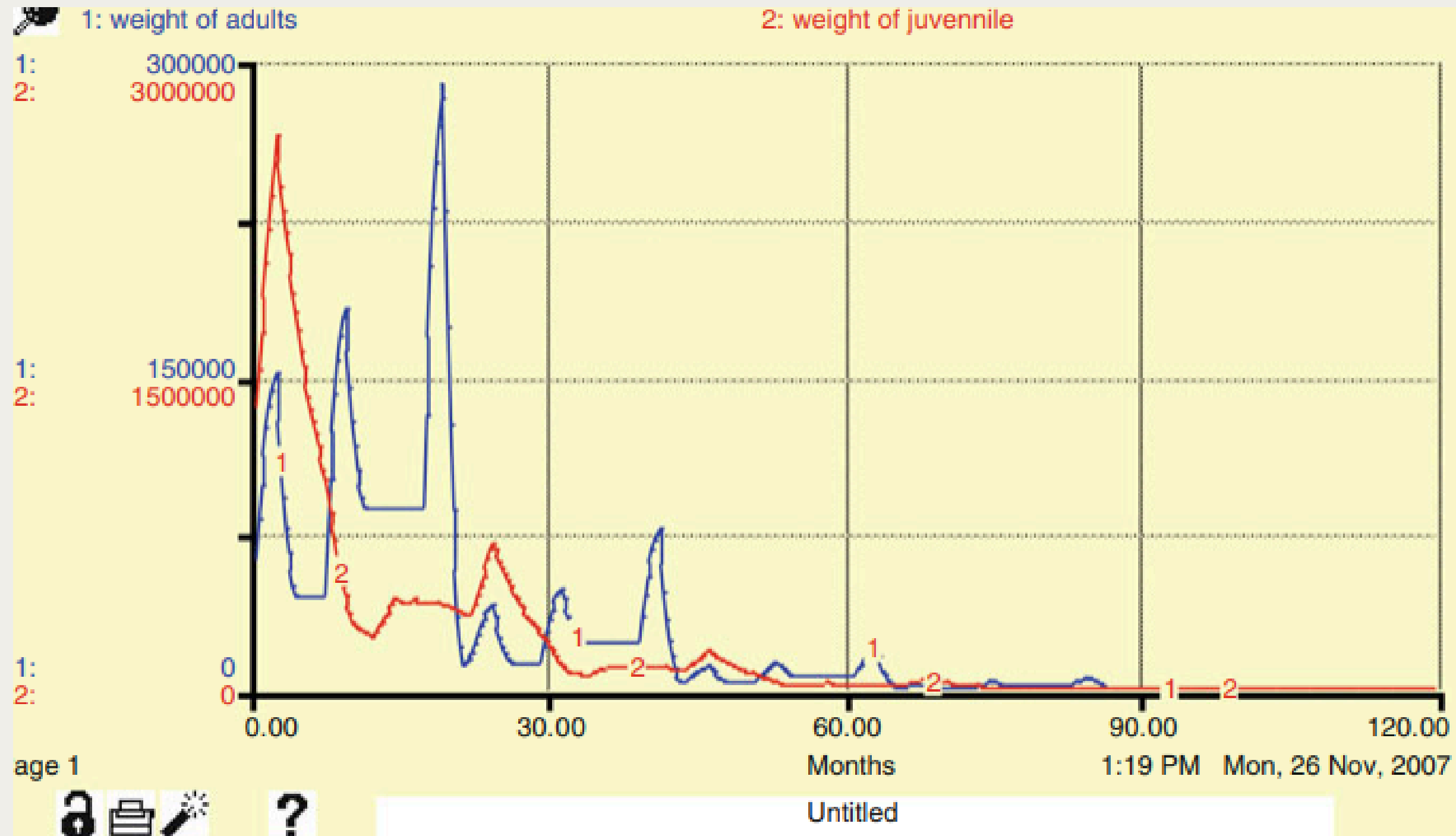
- Fracción de pesca de adultos migrantes: reducida a 0.5
- Representa una veda parcial durante la migración.

### Escenario 4 – Óptimo (Sostenible)

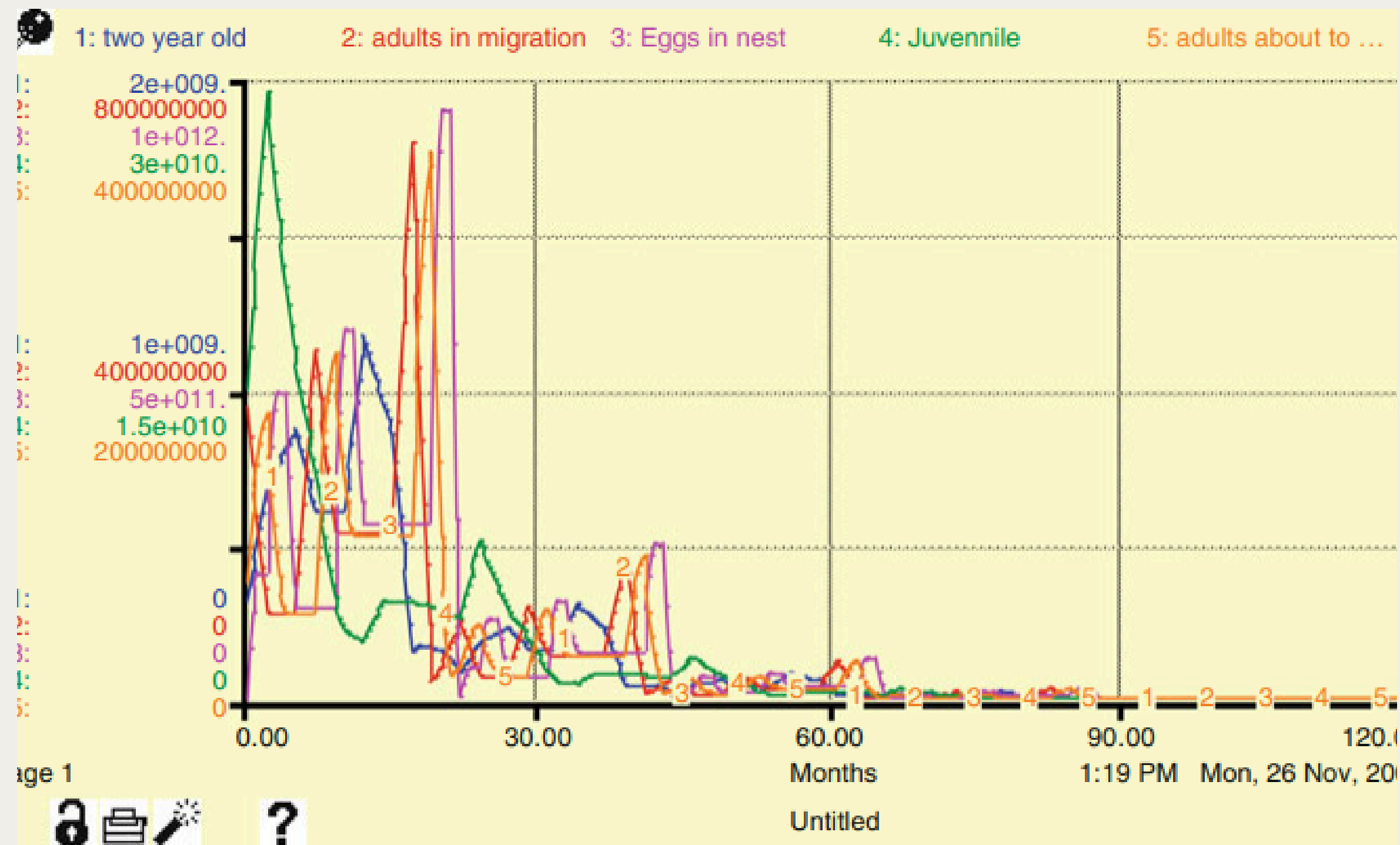
- Combinación:
  - Reducción de esfuerzo pesquero total
  - Protección total de adultos en época de migración
- Meta: maximizar captura total sin colapsar la biomasa reproductiva.



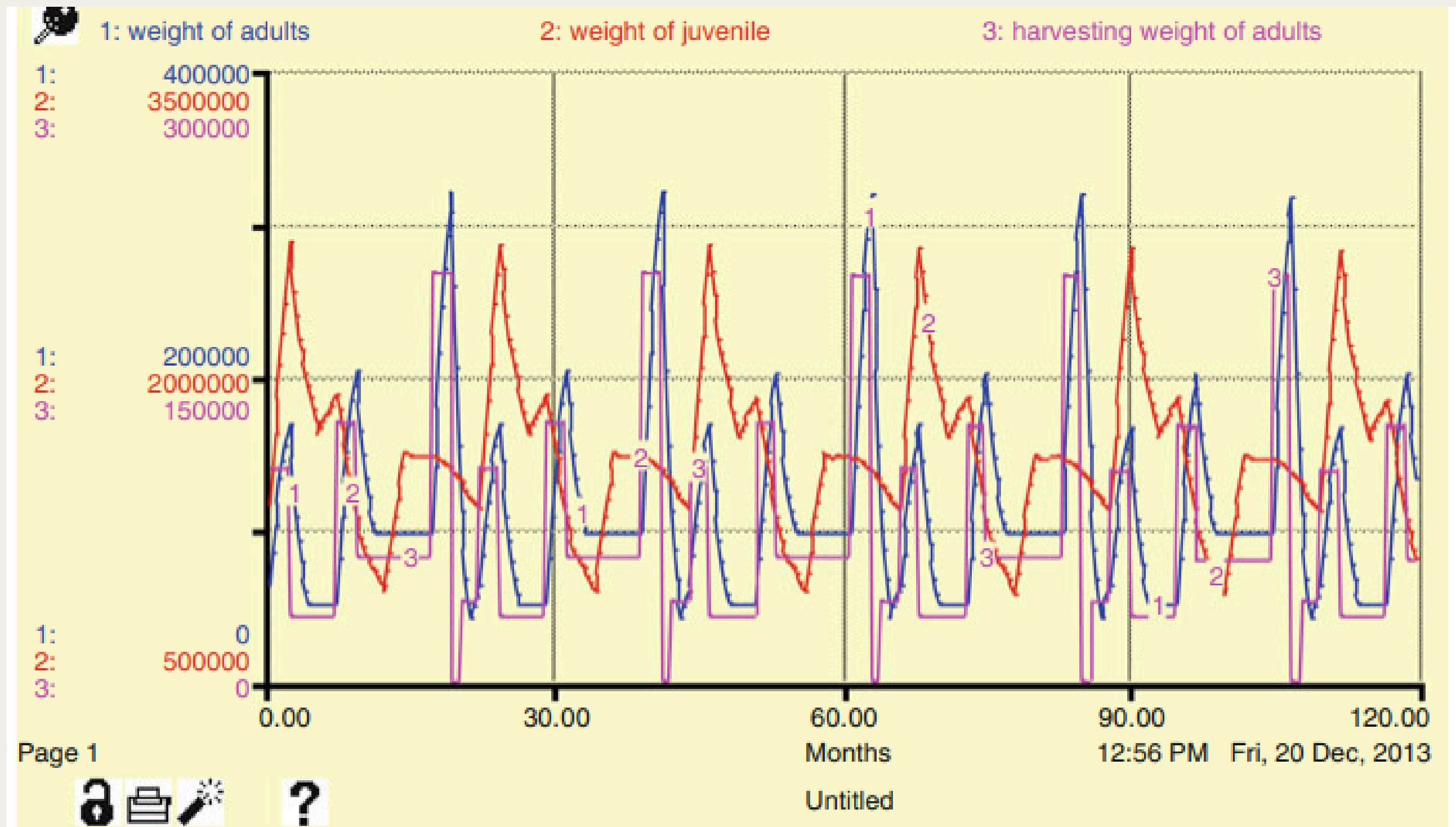
# Resultado Escenario 3



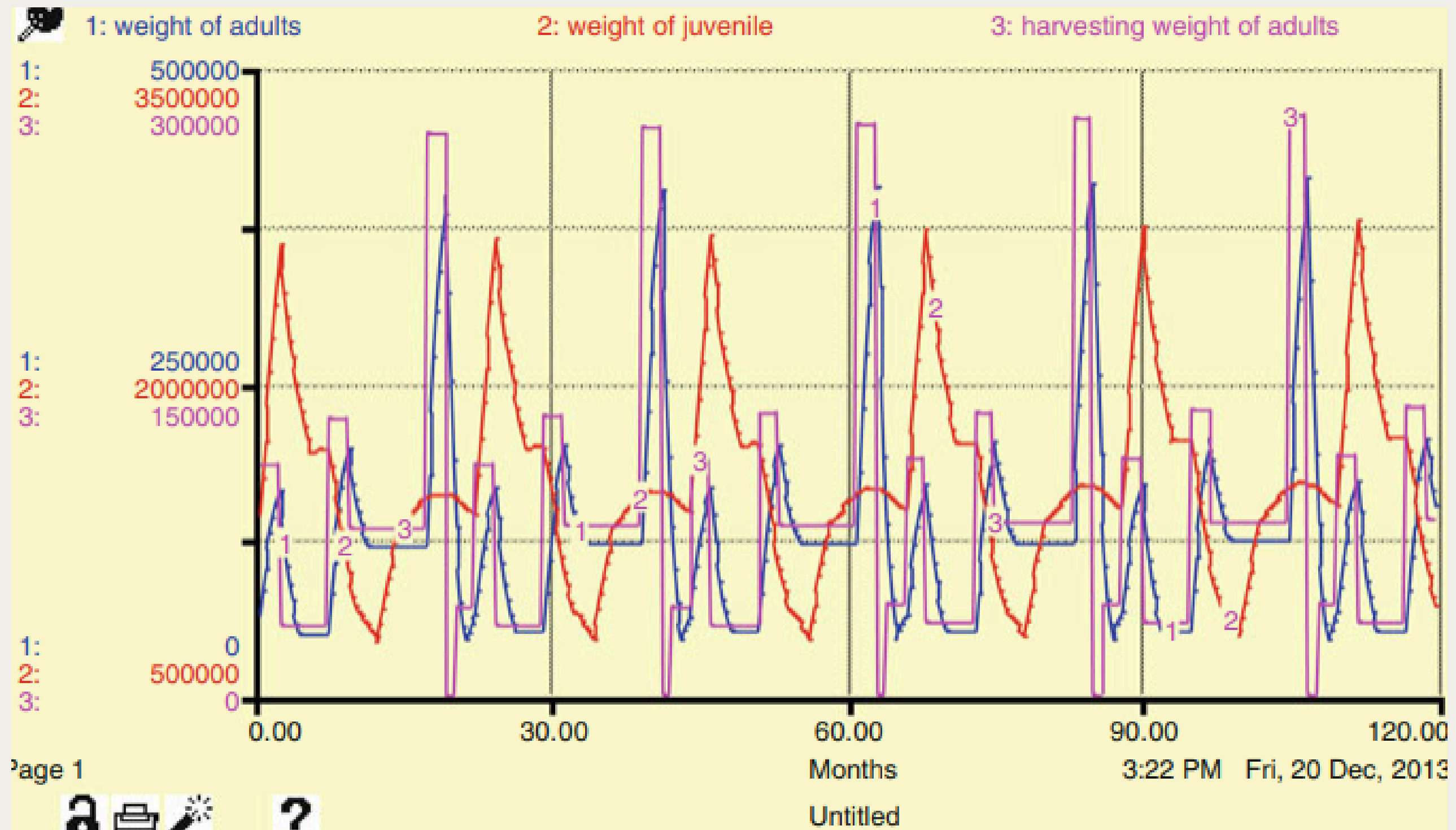
# Resultado Escenario 3



# Resultado Escenario 3



# Resultado Escenario 3



# Análisis de Políticas – Criterios de Evaluación



- **Indicadores Clave**

- **Sostenibilidad de la Biomasa**

- Biomasa adulta al final del horizonte de simulación .

- **Rendimiento Pesquero Acumulado**

- Captura total en kg a lo largo del período .

- **Riesgo de Colapso**

- Probabilidad de que la biomasa caiga por debajo del mínimo crítico (p. ej. 20 % del nivel inicial).

- **Equidad Socio-Económica**

- Mantenimiento de ingresos estables para pescadores artesanales.

- **Factibilidad de Implementación**

- Costo administrativo y grado de aceptación comunitaria.

- **Métodos de Análisis**

- Comparación Escenarios: tabla comparativa de indicadores por escenario.
  - Análisis de Trade-off: visualizar el equilibrio entre captura y biomasa (p. 192, Fig. 9.8).
  - Pruebas de Sensibilidad: ver cómo cambios menores en vedas o cuotas afectan los indicadores.

# Análisis de Políticas – Recomendaciones



## Política Óptima (Escenario 4)

- Protección Total en Migración: veda durante los meses de julio–septiembre (cuando > 70 % de adultos migran).
- Reducción del Esfuerzo Pesquero: límite del 50 % del esfuerzo actual en temporada de desove.
- Monitoreo y Ajuste Dinámico: revisión anual de parámetros de mortalidad y fecundidad.

## Otras Políticas Viables

- Veda Juvenil: prohibir captura de juveniles < 1 año todo el año (reduce la pérdida juvenil de 95 % a 80 %).
- Tallas Mínimas de Captura: solo individuos > 2 años pueden extraerse.
- Programas de Co-gestión: involucrar cooperativas de pescadores en vigilancia y cumplimiento.

## Impacto Esperado

- + 25 % de biomasa adulta tras 5 años.
- + 15 % de captura acumulada a 10 años vs. escenario base.
- Menor volatilidad en ingresos locales.

## Análisis de Políticas – Recomendaciones

Escenario	Indicador principal	Recomendación
<b>Base (sin regulación)</b>	Biomasa adulta final ↓ 80 % (colapso)	<b>No sostenible:</b> implementar veda y límites de esfuerzo
<b>Escenario 3 (veda parcial)</b>	Biomasa adulta estable (~60 % inicial)	Mantener veda parcial en migración; revisar esfuerzo anualmente
<b>Óptimo (combinado)</b>	Biomasa adulta ↑ 25 %; Captura ↑ 15 %	Veda total en migración + reducción 50 % esfuerzo de pesca

# Conclusiones



## Modelo verosímil y validado

- Reproduce satisfactoriamente las tendencias históricas de biomasa y capturas.
- Pasa pruebas de consistencia estructural, comportamiento y extremos.

## Importancia de la regulación

- Políticas sin regulación conducen a colapso poblacional a largo plazo.
- Protecciones temporales (vedas) y límites de esfuerzo son esenciales para evitar el colapso.

## Política Óptima

- Combinación de veda total en migración y reducción del 50 % del esfuerzo de pesca maximiza biomasa y captura sostenible.
- Aumenta biomasa adulta en ~25 % y captura acumulada en ~15 % vs. escenario base.



# Conclusiones



## Recomendaciones prácticas

- Implementar vedas durante julio–septiembre (época de migración).
- Establecer cuotas de esfuerzo anuales ajustables según monitoreo.
- Fomentar co-gestión con comunidades locales para mejorar cumplimiento.

## Pasos futuros

- Incorporar dinámica socio-económica (ingresos, precios de mercado).
- Refinar parámetros con datos de campo más recientes.
- Explorar efectos del cambio climático sobre hábitats de desove.

## Referencias Bibliográficas

- Bala, B. K. (2017). System Dynamics Modeling and Simulation. Springer.
- Shafi, M., Qureshi, A., & Milton, R. (1977). Parámetros biológicos de *Tenuialosa ilisha*. Journal of Fisheries Research, 12(4), 123–136.
- Qureshi, A. S. (1968). Life history of hilsa in the Ganges–Meghna system. Dhaka University Press.
- Milton, R. D. (2010). Mortalidad y producción de larvas de hilsa. Bangladesh Fisheries Journal, 22(1), 45–58.
- Mome, P., & Arnason, R. (2007). Historical catch data for hilsa fishery management. Marine Policy, 31(5), 627–635.
- Bangladesh Bureau of Statistics (BBS). (2012). Annual Fisheries Statistics. Dhaka, Bangladesh.

**MUCHAS  
GRACIAS**