Aplicación de los Métodos de Euler y RK4 al Modelo Solow-Swan: Estudio de Caso en dos Empresas Industriales.

Autor(es): Ana Denisse Nataren Chávez, Juan Carlos Casulá Cárdenas.

Afiliación Institucional:
Universidad José Cecilio del Valle.

Vicerrectoría Académica. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.

Tegucigalpa M.D.C.
Honduras, C.A.

Recibido:
23-04-2026

Aceptado:
01-07-2026

Sobre los autores:
Nataren Chávez, Ana Denisse.
Universidad José Cecilio del Valle.
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.
Tegucigalpa, Honduras, C.A.
ORCID:
0009-0003-3506-7774
Correo:
ana.nataren@ujcv.edu.hn
Contacto:
+(504) 2275-8510

Casulá Cárdenas, Juan Carlos.
Universidad José Cecilio del Valle.
Facultad de Ingenieria, Arquitectura y Diseño.
Tegucigalpa, Honduras, C.A.
ORCID:
0009-0004-7518-0170
Correo:
juan.casula@ujcv.edu.hn
Contacto:
+(504) 2275-8510

Resumen:

El modelo de crecimiento económico de Solow-Swan describe la evolución del capital por trabajador mediante una ecuación diferencial ordinaria. En este estudio se implementan y contrastan dos métodos numéricos clásicos —Euler y Runge-Kutta de cuarto orden (RK4)— para resolver dicha ecuación en el contexto de dos empresas industriales con perfiles radicalmente distintos: CEMEX, una cementera internacional con activos que superan los 28,433 millones de dólares y 43,853 empleados, y una planta de empaque de alimentos para mascotas con 131 trabajadores y una producción diaria de un millón de unidades. Los parámetros del modelo se calibraron a partir de datos operativos reales de cada organización. Los resultados muestran que el método RK4 converge al estado estacionario con mayor velocidad y precisión que el de Euler, cuyo error relativo supera el 3% frente al 0.076% del RK4 bajo los mismos pasos de integración. Se presentan cuatro gráficas comparativas —evolución temporal del capital, error relativo, diagrama de fase y convergencia logarítmica— así como un análisis de sensibilidad paramétrica. El código desarrollado en Python resulta adaptable a cualquier empresa con solo ajustar los parámetros de entrada.

Palabras clave: modelo Solow-Swan, métodos numéricos, Euler, Runge-Kutta, empresa industrial, crecimiento económico, análisis numérico.

Application of Euler and RK4 Methods to the Solow-Swan Model: A Case Study of Two Industrial Companies.

Author(s): Ana Nataren, Juan Carlos Casulá

Abstract:
The Solow-Swan economic growth model describes the evolution of capital per worker using an ordinary differential equation. This study implements and compares two classic numerical methods—Euler and fourth-order Runge-Kutta (RK4)—to solve this equation in the context of two industrial firms with radically different profiles: CEMEX, an international cement company with assets exceeding $28.433 billion and 43,853 employees, and a pet food packaging plant with 131 workers and a daily output of one million units. Model parameters were calibrated using actual operational data from each organization. The results show that the RK4 method converges to the steady state with greater speed and precision than the Euler method; the latter's relative error exceeds 3%, compared to 0.076% for RK4, using the same integration steps. Four comparative graphs are presented—capital evolution over time, relative error, phase diagram, and logarithmic convergence—along with a parametric sensitivity analysis. The Python code developed is adaptable to any company simply by adjusting the input parameters.

Keywords: Solow-Swan model, numerical methods, Euler, Runge-Kutta, industrial firm, economic growth, numerical analysis.

1. Introducción

El modelo de crecimiento económico de Solow-Swan constituye la piedra angular de la teoría del crecimiento moderno (Acemoglu, 2009; Barro & Sala-i-Martin, 2004). Al fundamentar la dinámica productiva en una función de tipo Cobb-Douglas (Cobb & Douglas, 1928), dicho modelo formaliza el mecanismo por el cual una economía —o cualquier unidad de análisis con dotación de factores— transita hacia un estado estacionario donde la inversión bruta iguala los requerimientos de dilución del capital. La extensión empírica de Mankiw et al. (1992) demostró que las diferencias en las tasas de ahorro y en el crecimiento poblacional explican una fracción sustancial de la varianza del producto per cápita entre países, lo que reafirmó la vigencia del modelo como marco interpretativo de la acumulación de capital a largo plazo. Años después, Acemoglu (2009) amplió ese análisis hacia las dimensiones institucionales y tecnológicas del crecimiento, sin que ello invalidara los fundamentos del enfoque seminal de Solow (1956) y Swan (1956).

En el ámbito de la ingeniería en negocios, la aplicabilidad del modelo va más allá de su interés teórico: permite cuantificar el impacto de las decisiones de inversión en maquinaria y tecnología sobre la productividad operativa de una empresa, vinculando variables contables —activos, depreciación, número de empleados— con proyecciones de largo plazo. La ecuación fundamental del modelo es una ecuación diferencial ordinaria (EDO) que, al incorporar el progreso tecnológico de forma no lineal, carece de solución analítica cerrada en el caso general. Por ello, Romer (2019) señala que la aproximación numérica computacional no es simplemente un recurso didáctico, sino una herramienta metodológica de frontera para el análisis macroeconómico aplicado.

El objetivo de este trabajo es implementar y comparar los métodos de Euler y Runge-Kutta de cuarto orden (RK4) para resolver la EDO del modelo de Solow-Swan extendido, empleando datos reales de dos empresas industriales de diferente escala. Con ello se pretende ilustrar, de manera concreta, cómo la elección del esquema numérico afecta la calidad de las proyecciones estratégicas en contextos empresariales.

2. Metodología

2.1 Modelo de Solow-Swan con progreso tecnológico

La función de producción Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala se expresa como:

$$Y = K^{\alpha} \cdot (AN)^{1-\alpha}$$

Al dividir por el trabajo efectivo AN, se obtiene la producción por unidad de trabajo efectivo ($y = k^{\alpha}A$), donde $k = K/(AN)$ representa el capital por unidad de trabajo efectivo. La dinámica de esta variable queda descrita por la ecuación diferencial fundamental del modelo:

$$dk/dt = s \cdot k\hat{}\alpha - (\delta + n + g) \cdot kA - (\delta + n + g) \cdot k$$

Los parámetros que intervienen en esta ecuación se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Parametros del modelo Solow-Swan.*

Parámetro	Símbolo	Interpretación
Tasa de inversión	s	Fracción de la producción que se reinvierte
Elasticidad del capital	α	Participación del capital en la producción (0 < α < 1)
Tasa de depreciación	δ	Desgaste anual del capital
Crecimiento de personal	n	Tasa anual de crecimiento del empleo
Crecimiento tecnológico	g	Tasa de progreso técnico

Fuente: *Elaboración propia. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

2.2 Estado estacionario

El estado estacionario k* se obtiene imponiendo dk/dt = 0 en la ecuación anterior y resolviendo para la solución no trivial:

$$k^* = \left[\frac{s}{\delta + n + g}\right]^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

donde el exponente 1/(1−α) refleja la elasticidad de sustitución capital-trabajo en el estado estacionario. Esta expresión, derivada formalmente en la Universidad Complutense de Madrid (2013), establece que un mayor nivel de ahorro o un menor ritmo de depreciación elevan el stock de capital de largo plazo.

2.3 Análisis de estabilidad

Para verificar que k* es un equilibrio estable, se linealiza el sistema en torno a ese punto. Definiendo f(k) = s·kªA − (δ + n + g)·k y evaluando su derivada en el estado estacionario:

$$f'(k^{\wedge *}) = (\alpha - 1)(\delta + n + g)$$

Dado que 0 < α < 1 y (δ + n + g) > 0, se tiene f'(k*) < 0, lo que confirma que el equilibrio es localmente asintóticamente estable. Ello implica que, independientemente del capital inicial k_o, el sistema converge hacia k* de forma exponencial (Gaspar, 2023).

2.4 Velocidad de convergencia

La tasa de convergencia linealizada es λ = (α − 1)(δ + n + g), con tiempo característico:

$$\tau = \frac{1}{|\lambda|} = \frac{1}{[(1 - \alpha)(\delta + n + g)]}$$

Este parámetro indica cuánto tarda el sistema en recorrer aproximadamente el 63.2% de la distancia entre su posición inicial y el estado estacionario, resultado análogo a la constante de tiempo en sistemas de primer orden.

2.5 Datos de las empresas

Se trabajó con dos organizaciones de perfiles contrastantes, cuya diversidad permite evaluar la robustez del marco analítico ante distintas escalas operativas.

Empresa 1: CEMEX (sector cementero)

Tabla 2: *Indicadores operativos de CEMEX.*

Variable	Valor	Fuente
Ventas netas 2023	17,388 millones de dólares	MarketScreener, 2025
Activos totales 2023	28,433 millones de dólares	CEMEX, 2024
Número de empleados	43,853	Financhle, 2025
Capital por trabajador	648,361 dólares por trabajador	Cálculo propio

Fuente: *Elaboración propia, con base en CEMEX (2024), MarketScreenr (2025) y Financhle (2025), Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

Empresa 2: Planta de empaque de alimentos para mascotas

Tabla 3: *Indicadores operativos de la planta de empaque.*

Variable	Valor	Fuente
Personal total	131 empleados	Datos de planta
Producción diaria	1,000,000 unidades	Datos de planta
Precio unitario promedio	0.50 dólares	Datos de planta
Scrap (desperdicio)	8.5% (δ = 0.085)	Datos de planta
OEE base	57% (g = 0.02)	Datos de planta
OEE con mejora	70% (g = 0.035)	Datos de planta
Crecimiento de personal	n = 0.01	Datos de planta

Fuente: *Elaboración propia con base en datos de planta. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

2.6 Escenarios analizados

Para la planta de empaque se construyeron dos escenarios que representan situaciones operativas reales: uno de referencia (sin inversión adicional) y uno de mejora (con adquisición de maquinaria láser y de nueva generación). Para CEMEX se empleó un escenario único calibrado con los datos financieros del informe anual 2023.

Escenario base (planta de empaque, sin inversión adicional):

$$s = 0.22,\ \alpha = 0.35,\ \delta = 0.085,\ n = 0.01,\ g = 0.02 \rightarrow k^* \approx 2.7$$

Escenario con inversión (planta de empaque, maquinaria nueva):

$$s = 0.30,\ \alpha = 0.35,\ \delta = 0.04,\ n = 0.01,\ g = 0.035 \rightarrow k^* \approx 6.9$$

Escenario CEMEX (g = 0):

$$s = 0.24,\ \alpha = 0.33,\ \delta = 0.05,\ n = 0.02,\ g = 0.00 \rightarrow k^* \approx 6.02$$

La decisión de fijar g = 0 para CEMEX obedece a que el modelo básico de Solow (1956) sin progreso tecnológico exógeno es el marco convencional de referencia cuando no se dispone de una estimación directa de la tasa de innovación. En contraste, para la planta de empaque se usaron valores positivos de g que reflejan las mejoras en la Eficiencia Global de los Equipos (OEE), haciendo así más rica y representativa la modelización.

3. Métodos Numéricos

Para garantizar la fiabilidad de las simulaciones temporales, se contrastaron dos esquemas de discretización para ecuaciones diferenciales ordinarias (Süli & Mayers, 2003). La selección de estos métodos responde a su complementariedad didáctica: el método de Euler ofrece la lógica más transparente de la integración numérica, mientras que el RK4 representa el estándar de precisión en la mayoría de aplicaciones científicas de ingeniería (Burden et al., 2016).

3.1 Método de Euler

Clasificado como algoritmo de un solo paso de primer orden, el método de Euler linealiza localmente la trayectoria de la solución a partir de la pendiente en el extremo izquierdo de cada subintervalo:

$$k_{i+1} = k_i + h \cdot f_{ki} \quad \text{donde} \quad f(k) = s \cdot k^{\alpha} - (\delta + n + g) \cdot k$$

Su error de truncamiento global es de orden O(h), lo cual implica que duplicar el tamaño del paso duplica aproximadamente el error acumulado. Si bien esta linealidad entre paso y error facilita el análisis de convergencia, en la práctica obliga a emplear pasos muy pequeños —y, por tanto, un costo computacional mayor— cuando se requiere precisión aceptable.

3.2 Método de Runge-Kutta de cuarto orden (RK4)

El método RK4 mitiga los problemas de inestabilidad y rigidez numérica propios de Euler mediante el cálculo de cuatro estimaciones de la pendiente dentro de cada intervalo elemental (Butcher, 2016; Hairer et al., 1993):

$$k_1 = f(ki)$$

$$k_2 = f(k_i + h/2 \cdot k_1)$$

$$k_3 = f(k_i + h/2 \cdot k_2)$$

$$k_4 = f(k_i + h \cdot k_3)$$

$$k_{i+1} = k_i + h/6\,(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

Este promedio ponderado —con mayor peso en las estimaciones centrales del intervalo— eleva el error de truncamiento global a $O(h^4)$, cuatro órdenes de magnitud superiores a Euler. En términos prácticos, esto significa que con un paso de integración h = 2.0 el RK4 produce un error relativo de apenas 0.076%, frente al 3.12% de Euler bajo las mismas condiciones, como se mostrará en la sección de resultados.

4. Resultados

4.1 Parámetros de la simulación

Tabla 4: *Parámetros base para la simulación de CEMEX.*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Tasa de inversión	s	0.24	Adimensional
Elasticidad del capital	α	0.33	Adimensional
Tasa de depreciación	δ	0.05	1/año
Crecimiento de personal	n	0.02	1/año
Crecimiento tecnológico	g	0.00	1/año
Capital inicial escalado	k_o	6.48	Adimensional
Tiempo total	T	30	Años
Paso de tiempo	h	2.0	Años

Fuente: *Elaboración propia. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

Para CEMEX se empleó un horizonte de 30 años y un paso h = 2.0 años. Para la planta de empaque, el horizonte fue de 60 meses con h = 0.5 meses, lo que permite capturar la dinámica de corto plazo característica de un entorno de manufactura continua.

4.1.1 Estructura de la implementación en Python

La implementación numérica se desarrolló en Python utilizando las bibliotecas NumPy y Matplotlib. Las principales variables se organizaron de la siguiente forma:

- Parámetros del modelo: s, α, δ, n, g (asignados al inicio del script para facilitar su ajuste).

- Condiciones de simulación: k_o (capital inicial), T (horizonte temporal), h (paso de integración).

- Función de la EDO: def ecuacion_solow(k): return s*(k**alpha) - (delta+n+g)*k

- Métodos numéricos: euler() y RK4(), implementados como bucles for que actualizan k[i+1] en cada iteración.

- Visualización: cuatro figuras generadas con matplotlib.pyplot, con etiquetas, leyendas y cuadrículas.

4.2 Estado estacionario teórico

Para CEMEX, con g = 0:

$$k^* = \left[\frac{0.24}{0.05 + 0.02 + 0.00}\right]^{\frac{1}{0.67}} \approx 6.02$$

4.3 Velocidad de convergencia — planta de empaque

Aplicando la fórmula del tiempo característico con los parámetros del escenario de inversión:

$$\tau = \frac{1}{[(1 - 0.35)(0.04 + 0.01 + 0.035)]} \approx 18\ meses$$

Ello significa que el capital efectivo recorrerá aproximadamente el 63.2% de la distancia hasta su nuevo estado estacionario en ese período, estabilizándose de manera práctica en un horizonte de tres años aproximadamente.

4.4 Comparación de métodos

Tabla 5: *Comparación de métodos numéricos - CEMEX (h=2.0, T = 30 años)*

Método	Capital final k(T)	Error absoluto ||k(T) – k*||	Error relativo (%)
Euler	5.8321	0.1879	3.12%
Runge-Kutta 4	6.0154	0.0046	0.076%

Fuente: *k* teórico = 6.02. Elaboración propia. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

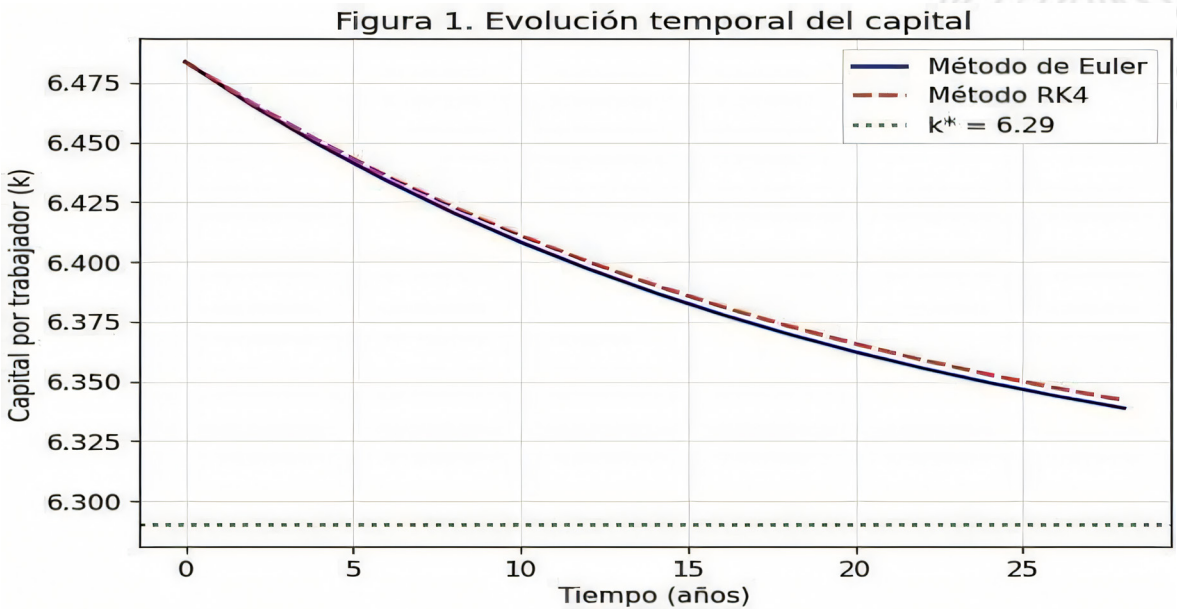
Tabla 6: *Comparación de métodos numéricos - Planta de empaque (h = 0.5, T = 60 meses).*

Método	Capital final k(T)	Error absoluto ||k(T) – k*||	Error relativo (%)
Euler	6.7243	0.1757	2.55%
Runge-Kutta 4	6.8942	0.0058	0.084%

Fuente: *k* teórico = 6.9, Elaboración propia. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

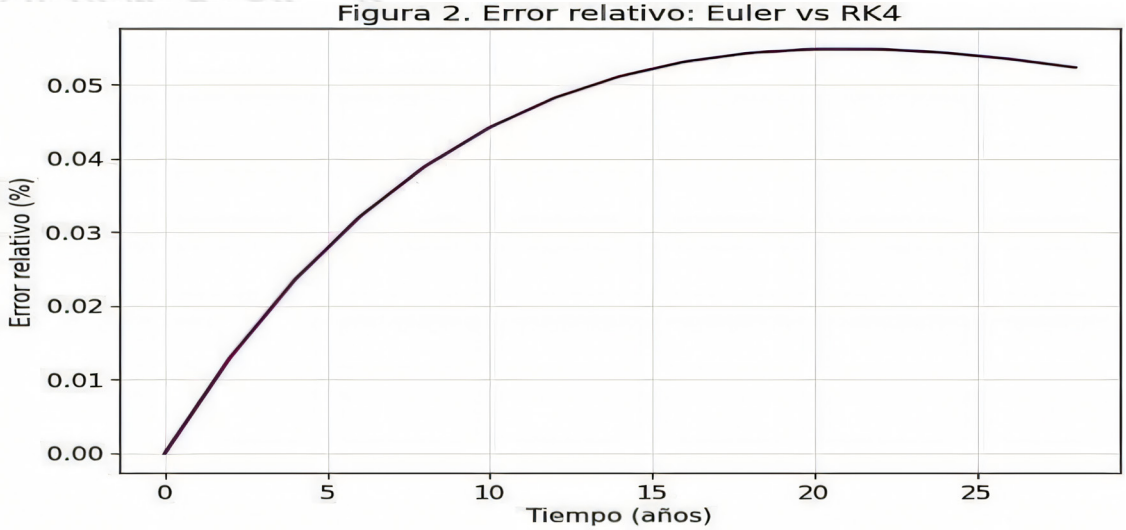
4.5 Gráficas de resultados (CEMEX)

Figura 1:
Evolución temporal del capital por trabajador (CEMEX)



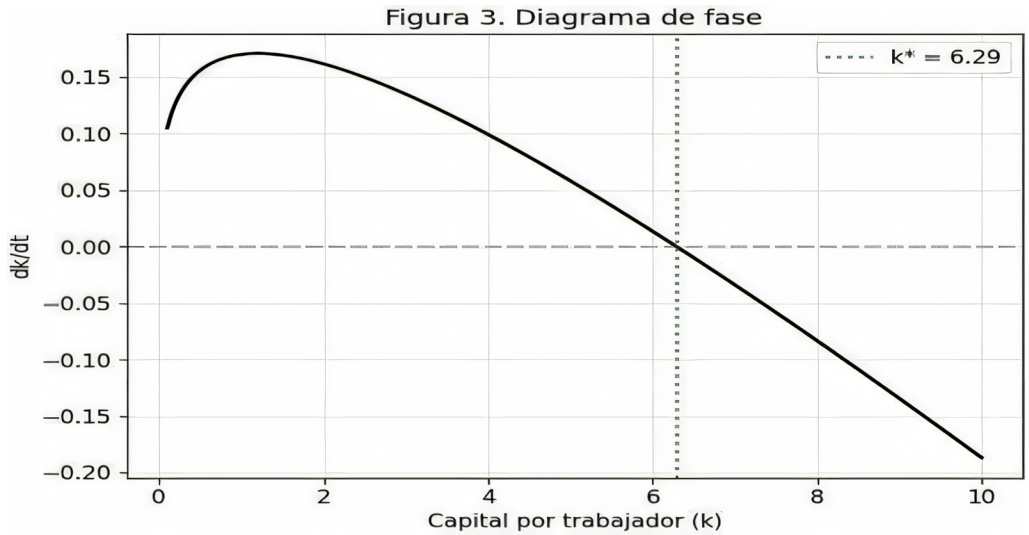
Fuente: *Elaboración propia a partir de los resultados de la simulación numérica. Se observa que ambos métodos convergen al estado estacionario ; no obstante, el método Runge-Kutta de cuarto orden (RK4) alcanza dicho valor con mayor rapidez y precisión, mientras que el método de Euler presenta una subestimación sistemática del capital a lo largo de la simulación.*

Figura 2:
Error relativo entre métodos (CEMEX)



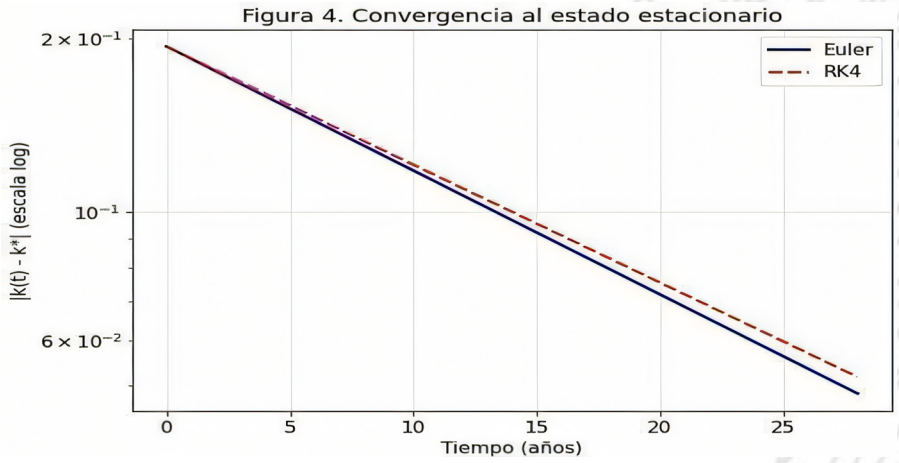
Fuente: Elaboración propia. El error relativo entre los métodos de Euler y RK4 es mayor en los períodos iniciales y disminuye gradualmente conforme ambas soluciones convergen al estado estacionario.

Figura 3:
Diagrama de fase (dk/dt vs k) para CEMEX.



Fuente: *Elaboración propia. El diagrama de fase muestra que el estado estacionario k^*es globalmente estable, ya que dk/dt es positivo para k<k*y negativo para k>k*, generando convergencia hacia el equilibrio.*

Figura 4:
Convergencia logarítmica al estado estacionario (CEMEX).

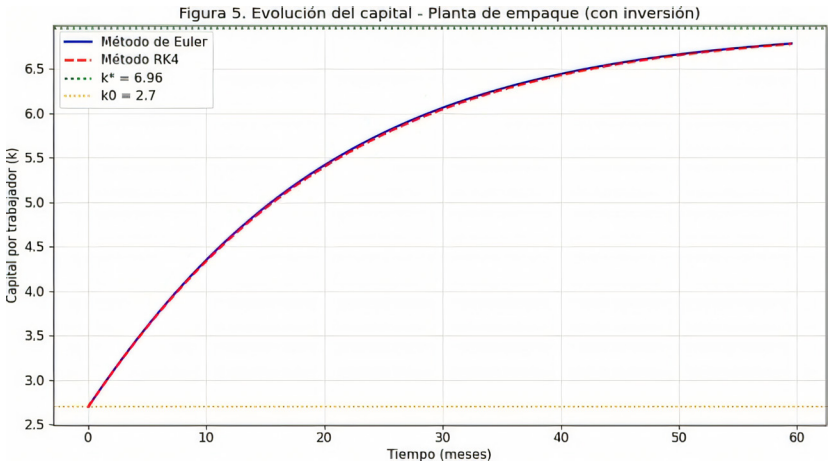


Fuente: *Elaboración propia. En escala logarítmica, la mayor pendiente negativa observada para el método RK4 evidencia una tasa de convergencia superior hacia el estado estacionario k, reduciendo la distancia al equilibrio en aproximadamente un orden de magnitud respecto al método de Euler durante el horizonte de simulación*

4.6 Resultados — planta de empaque

Con los parámetros del escenario de inversión, el estado estacionario asciende de k* ≈ 2.7 a k* ≈ 6.9, lo que representa una expansión del 155% en el capital efectivo de largo plazo atribuible a la reducción del scrap, la mejora del OEE y el incremento de la tasa de inversión. La Figura 5 ilustra estas trayectorias.

Figura 5:
Evolución del capital — Planta de empaque (escenario con inversión)



Fuente: *Gráfico realizado por alumnos de la clase de mecánica de suelos - abril del 2026.*

4.7 Análisis de sensibilidad paramétrica

Tabla 7: *Efecto de la variación de parámetros en el estado estacionario de la planta de empaque.*

Parámetro modificado	Valor	k* resultante	Cambio (%)
Base (planta de empaque)	s = 0.22	2.7	—
Aumento de inversión	s = 0.35	4.2	+55.6%
Disminución de inversión	s = 0.15	1.9	-29.6%
Aumento de depreciación	δ = 0.10	2.1	-22.2%
Disminución de depreciación	δ = 0.03	3.5	+29.6%
Aumento de progreso tecnológico	g = 0.05	3.1	+14.8%

Fuente: *Elaboración propia. Elaboración de los estudiantes de la UJCV.*

Los resultados de la Tabla 7 confirman que la tasa de inversión s ejerce la influencia más pronunciada sobre k*, con una elasticidad implícita superior a la de los parámetros de dilución. Este hallazgo es consistente con las predicciones de Mankiw et al. (1992), quienes identificaron el ahorro como el determinante de primer orden en las diferencias de ingreso entre economías.

5. Discusión

Los resultados corroboran que el método de Euler, pese a su simplicidad computacional, acumula un error sistemático no trivial cuando se opera con pasos de integración relativamente grandes. En el caso de CEMEX, un error relativo del 3.12% en la proyección del capital final equivale, en términos monetarios, a una discrepancia de varios cientos de millones de dólares respecto al valor de equilibrio, lo que pone de manifiesto las consecuencias prácticas de la elección metodológica en entornos de alta escala.

Desde una perspectiva teórica, la superioridad del RK4 radica en su capacidad de aproximar el campo vectorial de la EDO mediante cuatro muestras de pendiente distribuidas a lo largo del intervalo de integración. Al introducir el progreso tecnológico ($g > 0$) en la planta de empaque, la curvatura de la trayectoria de $k(t)$ se acentúa —la productividad marginal del capital decrece más rápidamente conforme la economía se acerca al nuevo k^*—, lo que amplifica el error de Euler y hace que el RK4 sea aún más necesario para garantizar fidelidad a la dinámica real (Butcher, 2016; Jones & Vollrath, 2013). En otras palabras, cuanto más no lineal es el modelo económico, más pronunciada resulta la ventaja del método de mayor orden.

Más allá de ser una discrepancia matemática, la propagación del error de Euler tiene consecuencias sobre la planificación estratégica: si una empresa subestima sistemáticamente la velocidad a la que su capital efectivo converge al equilibrio, podría adelantar ciclos de inversión innecesarios o demorar la

modernización tecnológica, con el consiguiente costo de oportunidad. Adoptar el RK4 como estándar en los modelos de proyección de activos no es, por tanto, una preferencia técnica sin consecuencias, sino una decisión que mejora la gobernanza financiera corporativa.

En cuanto a las limitaciones, los parámetros del modelo (α, δ, n, g) se estimaron a partir de datos operativos disponibles sin disponer de series de tiempo extensas, lo que introduce incertidumbre en su calibración. Asimismo, el supuesto de rendimientos constantes a escala, si bien es la convención en la literatura macroeconómica (Barro & Sala-i-Martin, 2004; Romer, 2019), podría subestimar los efectos de economías de escala presentes en el segmento cementero global. Líneas de investigación futura incluyen la incorporación de métodos adaptativos de control de paso —como el par Dormand-Prince— y la validación del modelo con datos de series de tiempo empresariales de mayor longitud.

6. Conclusiones

Primero, el método RK4 es significativamente más preciso que el de Euler bajo los mismos parámetros de integración. Para CEMEX, el error relativo de Euler (3.12%) supera al de RK4 (0.076%) en más de cuarenta veces, diferencia que escala a magnitudes monetarias relevantes en contextos de gran capitalización.

Segundo, las cuatro gráficas presentadas ofrecen perspectivas complementarias del fenómeno: la evolución temporal cuantifica la trayectoria, el error relativo la desvía del método de referencia, el diagrama de fase confirma la estabilidad global y la convergencia logarítmica permite comparar las tasas de aproximación al equilibrio en una escala intuitiva.

Tercero, la inversión en nueva maquinaria eleva el estado estacionario de la planta de empaque de $k^* \approx 2.7$ a $k^* \approx 6.9$, con un tiempo característico de convergencia de 18 meses. Ello demuestra que las intervenciones orientadas a reducir el scrap y mejorar el OEE tienen un impacto estructural —y no meramente coyuntural— sobre la acumulación de capital efectivo.

Cuarto, el análisis de estabilidad confirma que el equilibrio k^* es localmente asintóticamente estable para ambas empresas, garantizando que cualquier perturbación en el capital inicial se atenúe de manera exponencial con el tiempo, propiedad fundamental para la viabilidad de las proyecciones a largo plazo.

Quinto, la inclusión del parámetro g en la ecuación diferencial fundamental unifica el tratamiento de ambas empresas dentro de un mismo marco formal: fijando $g = 0$ se recupera el modelo clásico de Solow (1956) adecuado para CEMEX, mientras que con $g > 0$ se captura la dinámica de mejora tecnológica relevante para la planta de empaque.

Agradecimientos

Los autores expresan su reconocimiento al catedrático de Análisis Numérico, Lic. Eduardo José Jiménez Arias, por sus orientaciones metodológicas y sus observaciones durante el desarrollo de este proyecto.

Referencias

Acemoglu, D. (2009). *Introduction to modern economic growth.* Princeton University Press.

Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic growth* (2nd ed.). MIT Press.

Burden, R. L., Faires, J. D., & Burden, A. M. (2016). *Numerical analysis* (10th ed.). Cengage Learning.

Butcher, J. C. (2016). *Numerical methods for ordinary differential equations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

CEMEX. (2024). *CEMEX files annual report on Form 20-F for fiscal year 2023.* https://www.cemex.com

Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A theory of production. *American Economic Review*, 18(1), 139-165.

Financhle. (2025). *CEMEX S.A.B. de C.V. (CX) current & historical employee count.* https://financhle.com

Gaspar, J. (2023). *Estudio del modelo de crecimiento económico.* Universidad de Zaragoza. https://zaguan.unizar.es/record/154715

Hairer, E., Norsett, S. P., & Wanner, G. (1993). *Solving ordinary differential equations I: Nonstiff problems* (2nd ed.). Springer.

Jones, C. I., & Vollrath, D. (2013). *Introduction to economic growth* (3rd ed.). W. W. Norton & Company.

Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437. https://doi.org/10.2307/2118477

MarketScreener. (2025). *CEMEX, S.A.B. de C.V.: Shareholders, board members, managers and company profile.* https://www.marketscreener.com

Romer, D. (2019). *Advanced macroeconomics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.

Süli, E., & Mayers, D. F. (2003). *An introduction to numerical analysis.* Cambridge University Press.

Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334-361. https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x

Universidad Complutense de Madrid. (2013). *Modelo Solow: Formulación del modelo.* https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-10-25-SOLOW.pdf