

Jornada sobre **ECONOMÍA CIRCULAR**
de los IUIs de la Universidad de Zaragoza



Modelización matemática en el contexto de la economía circular

Carmen Galé

Departamento de Métodos Estadísticos

26 de noviembre de 2021



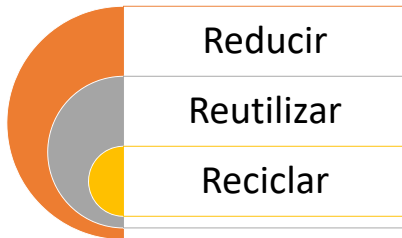
Instituto Universitario de Investigación
**de Matemáticas
y Aplicaciones**
Universidad Zaragoza

Del modelo lineal al circular

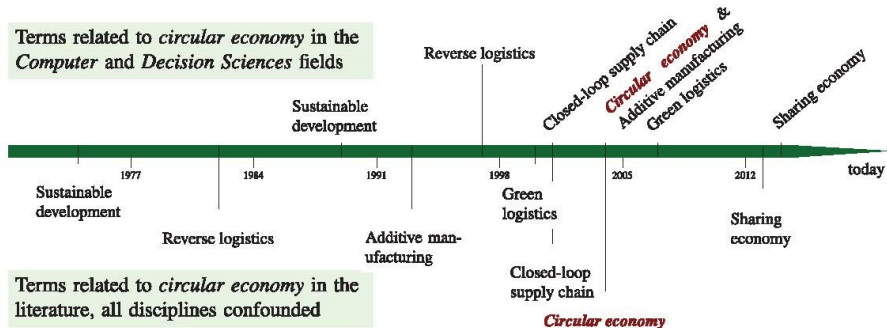
Modelo lineal:



Modelo Circular:



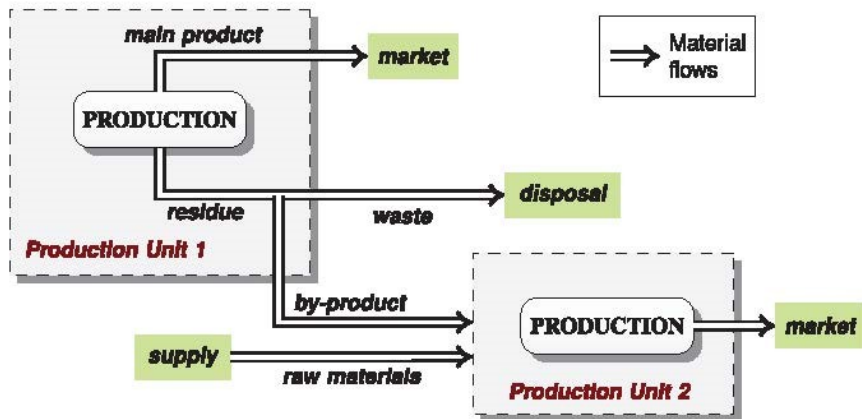
Economía circular hasta hoy



Suzzanne et al. (2020)

La Economía Circular se aproxima desde múltiples disciplinas: la ciencia medioambiental, la energía, la ingeniería o **la gestión de recursos**.

Planificación de la producción: cálculo de lote óptimo



Suzzanne et al. (2020)

En un sistema de producción, un producto principal 0 conlleva la generación de K co-productos en una proporción α_k para el co-producto k ($\alpha_0 = 1$).

Datos

- d_t^k La demanda del producto k en el periodo t .
- f_t El coste fijo de lanzar la producción en t .
- c_t^k El coste variable de producción de una unidad de producto k .
- h_t^k El coste de mantenimiento por unidad de producto k al final del periodo t .

Variables de decisión

- Y_t toma el valor 1 si se decide producir en el periodo t .
- X_t producción en el periodo t .
- I_t^k nivel de inventario del producto k al final del periodo t .

$$\min \quad \sum_{t=1}^T \left(f_t Y_t + \sum_{k=0}^K (c_t^k x_t + h_t^k I_t^k) \right)$$

$$\text{sujeto a: } I_0^k = 0, \quad k = 0, \dots, K$$

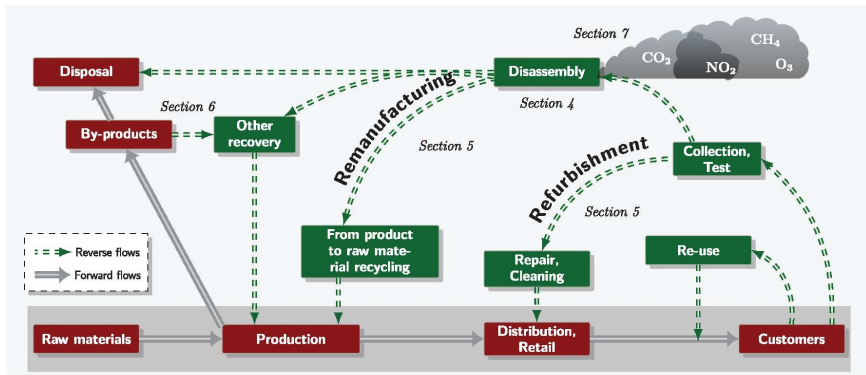
$$I_{t-1}^k + \alpha_k x_t = I_t^k + d_t^k, \quad t = 1, \dots, T, k = 0, \dots, K$$

$$x_t \leq Q y_t, \quad t = 1, \dots, T$$

$$x_t, I_t^k \geq 0, y_t \in \{0, 1\} \quad t = 1, \dots, T, k = 0, \dots, K$$

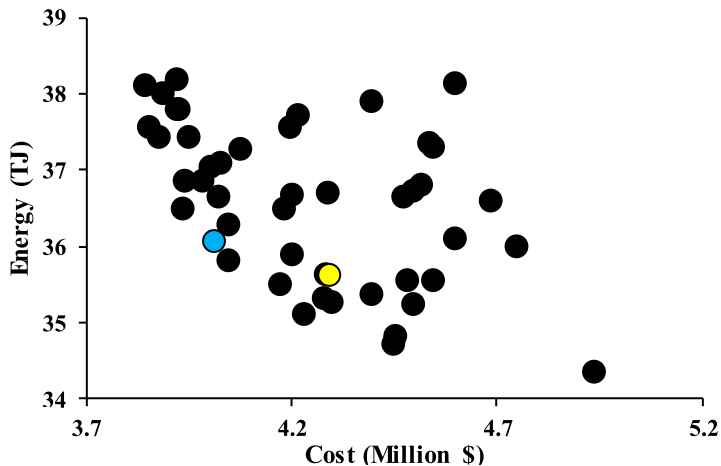
$$\text{donde } Q = \max_k \frac{d_t^k}{\alpha_k}.$$

Diseño de la cadena de suministro de ciclo cerrado

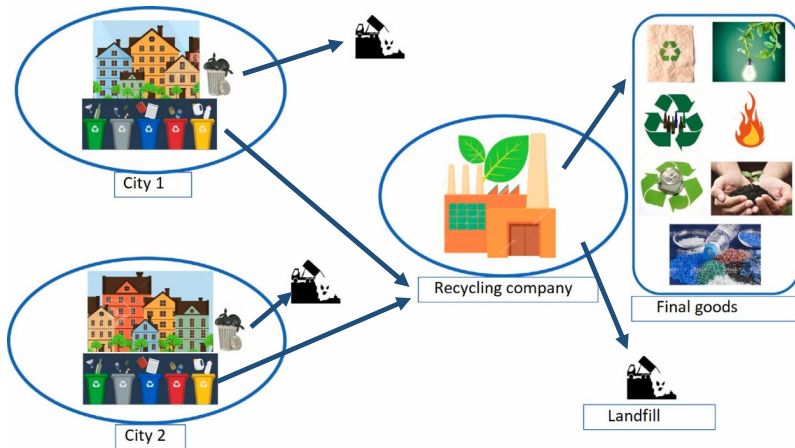


Suzanne et al. (2020)

La EC rediseña el enfoque de producción lineal.



Gestión de residuos en zonas urbanas

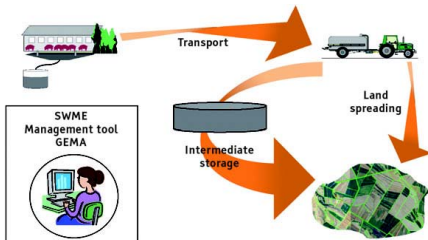


Allevi et al. (2020)

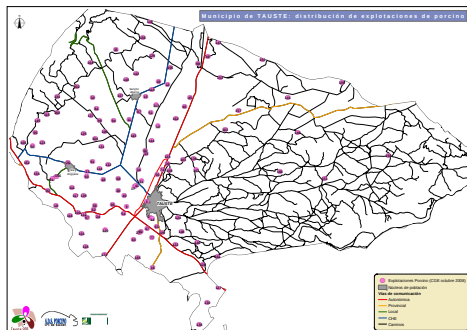


LIFE ES-WAMAR PROJECT

- La valorización del purín como un recurso de fertilización orgánico.
- La creación de un Centro Gestor de Estiércoles (CGE).



Modelo binivel de establecimiento de precios



- 350000 m³ de purín.
- 13000 Has de campos.

Los agentes son el centro gestor (CGE), los ganaderos (G) y los agricultores (A).

Conjuntos

- T periodos de tiempo en un año.
- K tipos de cultivos.
- J conjunto de campos.
- I conjunto de granjas.

Datos

- V capacidad en m^3 de los vehículos del CGE.
- NH_k kg de Nitrógeno por Ha precisos para el cultivo k .
- $T(k)$ periodos de tiempo en los que se fertiliza el cultivo k .
- A_{jk} número de hectáreas en el campo j con cultivo k .
- v_i capacidad en m^3 de la balsa en la granja i .
- O_i^t m^3 de purín producidos en el periodo t en la granja i .
- NV_i^t kg de Nitrógeno/ m^3 de purín en el periodo t en la granja i .
- $J(i)$ conjunto de campos cerca de la granja i .

Variables de decisión del CGE

TA_j precio por kg de Nitrógeno aplicado al campo j .

TG_i precio por m^3 de purín gestionado en la granja i .

Variables de decisión de los ganaderos y agricultores

y_i Toma el valor 1 si la granja i utiliza el CGE.

y_{ij}^t m^3 enviados desde la granja i al campo j en el periodo t sin utilizar el CGE.

x_{ij}^t m^3 enviados desde i a j en t por el CGE.

x_i^t m^3 en la balsa de la granja i al finalizar t .

Problema de optimización del CGE

$$\max_{TA_j, TG_i} W_1 g_1^+ + \sum_{i \in I} W_{I2i} (gg_{2i}^- + gg_{2i}^+) + \sum_{j \in J} W_{J2j} (ga_{2j}^- + ga_{2j}^+)$$

$$\text{sueto a: } B - g_1^+ = Z$$

$$TG_i + gg_{2i}^- - gg_{2i}^+ = \frac{\sum_{i \in I} TG_i}{I} \quad i \in I$$

$$TA_j + ga_{2j}^- - ga_{2j}^+ = \frac{\sum_{j \in J} TA_j}{J} \quad j \in J$$

$$x_{ij}^t \leq n_{ij}^t V, \quad i \in I, j \in J(i), t \in T$$

donde $\{x_{ij}^t, y_{ij}^t, x_i^t, y_i^t\}$ resuelven el problema de agricultores y ganaderos

Problema de optimización de agricultores y ganaderos

$$\min_{x_{ij}^t, y_{ij}^t, y_i, x_i^t} \sum_{i \in I, j \in L(i)} (TG_i + TA_j)x_{ij}^t + d_{ij}^t y_{ij}^t$$

$$\text{sujeto a: } x_i^0 = 0$$

$$\sum_{j \in L(i)} (x_{ij}^t + y_{ij}^t) + x_i^t = O_i^t + x_i^{t-1}, \quad t \in T$$

$$x_{ij}^t \leq y_i O_i^t, \quad t \in T$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in L(i)} x_{ij}^t \geq y_i \frac{P}{100} \sum_{t \in T} O_i^t$$

$$x_i^t \leq v_i, \quad t \in T$$

$$\sum_{i \in I: j \in L(i)} NV_i^t (x_{ij}^t + y_{ij}^t) \geq \sum_{k \in K: t \in T(k)} A_{jk} NH_k, \quad t \in T, j \in J$$

$$x_{ij}^t, y_{ij}^t, x_i^t \geq 0, y_i \in \{0, 1\}, \quad j \in L(i), t \in T$$

Modelo simple basado en datos históricos

Escenarios: Precios fijos o variables.

Datos

V_n m^3 gestionados en un año a granjas con calidad promedio en el intervalo n .

A_k kg de Nitrógeno aplicados en un año en la zona de distancia k .

C_T coste total

T_S euros por kg de Nitrógeno del abono químico.

Variables de decisión

TG_n precio por m^3 gestionado con calidad promedio en el intervalo n .

TA_k precio por kg de Nitrógeno aplicadas en un año en la zona de distancia k .

Modelos

r margen de beneficio del CGE ($r \in [0, 1]$).

δ porcentaje del precio de kg de nitrógeno del abono químico ($\delta \in [0, 1]$).

Restricciones añadidas.

$$\min_{TA, TF} \quad (d, TG_1)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_n TG_n V_n + \sum_k TA_k(0,6A_k) - (1+r)C_T \geq d$$

$$TA_k \leq \delta T_S, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

$$0,25 \left(\sum_n TG_n V_n + \sum_k TA_k(0,6A_k) \right) = \sum_k TA_k(0,6A_k)$$

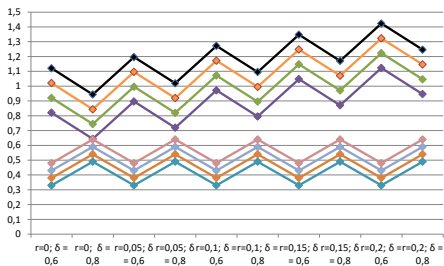
$$TA_k \geq TA_{k-1} + 0,05, \quad k = 2, 3, 4$$

$$TG_n \geq TG_{n+1} + 0,1, \quad n = 1, 2, 3$$

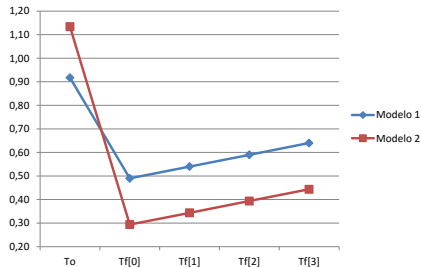
$$TA_k, TG_n, d \geq 0, \quad n, k = 1, 2, 3, 4$$

Modelo simple basado en datos históricos

Escenario 4, Modelo 1



Escenario 2





- Ağrah, S. A dynamic uncapacitated lot-sizing problem with co-production. Optimization Letters 6: 1051-1061, 2012.
- Allevi et al. Municipal solid waste management in circular economy: A sequential optimization model. Energy Economics 100, 105383, 2021.
- Atabaki et al. New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. Computers & Industrial Engineering 146, 106520, 2020.
- Boulding, K.E. The economics of the coming spaceship earth. Environ. Qual. Grow. Eco. Essays from the Sixth RFF Forum 3-14, 1966.
- Calvete, H.I. et al. Optimization models for pricing in a waste management company. 27th European Conference on Operational Research, 2015.
- Geissdoerfer, M. et al. Circular business models: A review. Journal of Cleaner Production 277, 123741, 2020.
- Pearce, D., Turner, R. Economics of Natural Resources and the Environment. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1989.
- Schroeder et al. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. Journal of Industrial Ecology 23(1), 77-95, 2018.
- Stahel, W., Reday, G. The Potential for Substituting Manpower for Energy. Final report 30 July 1977 for the Commission of the European Communities, 1976.
- Suzanne, E. et al. Towards circular economy in production planning: Challenges and opportunities. European Journal of Operational Research 287, 168-190, 2020.