

Modelos de optimización para aplicaciones forestales dictado 2024 Clase 4

CENUR Noreste y Facultad de Ingeniería. UdelaR

2024

Material de referencia.

- Curso “Introducción a la Optimización Evolutiva Multiobjetivo”, Dr. Carlos Coello Coello. CINVESTAV, México. <https://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/cursoemoo/>
- Curso “Conceptos y herramientas para la resolución de problemas de optimización multiobjetivo”. Dr. Diego Rossit, Dr. Sergio Nesmachnow. UDELAR, Uruguay. <https://eva.fing.edu.uy/course/view.php?id=1687>.

- Marco general: Multiple-criteria decision-making (MCDM) or multiple-criteria decision analysis (MCDA). Disciplina que apunta a apoyar la toma de decisiones en contextos en los que hay múltiples criterios en conflicto.
- Problema de Optimización Multiobjetivo (POM) puede definirse como el problema de encontrar [Osyczka, 1984]: un vector de variables de decisión que satisfagan un cierto conjunto de restricciones y optimice un conjunto de funciones objetivo. Estas funciones forman una descripción matemática de los criterios de desempeño que suelen estar en conflicto unos con otros y que se suelen medir en unidades diferentes. El término “optimizar” en este caso toma pues un significado diferente al del caso de problemas mono-objetivo. (fuente: Andrzej Osyczka, Multicriterion Optimization in Engineering with FORTRAN programs, Ellis Horwood Limited, UK, 1984.)

- Ejemplo: cosecha forestal. Objetivos posibles: maximizar el beneficio a largo plazo, maximizar la sostenibilidad, maximizar la captura de carbono, minimizar la mano de obra necesaria, minimizar el impacto ambiental, etc.
- Contraposición de objetivos, vs objetivos alineados.
- Discusión de espacio de decisión (el de las variables de decisión) vs. espacio de objetivos (el de los valores de las funciones objetivo).

- Definición: sea un problema multi-objetivo con funciones objetivo $f_i()$, $i = 1, \dots, M$. Una solución x domina a una solución y si $f_i(x) \leq f_i(y) \forall i$, y existe al menos un j tal que $f_j(x) < f_j(y)$.
- Soluciones no-dominadas.
- Conjunto eficiente o conjunto de Pareto: conjunto de soluciones factibles no dominadas de un problema multi-objetivo.
- Frente de Pareto(o frontera de Pareto): valores funcionales de las soluciones no dominadas.
- Enfoques para problemas multi-objetivo: métodos a priori, métodos a posteriori, métodos interactivos.

- Caso particular, número de funciones objetivo $M = 2$.
- Representación gráfica del frente de Pareto.
- Punto ideal: punto (y_1, y_2) en el espacio de objetivos cuyas coordenadas corresponden al valor óptimo por separado de ambas funciones objetivo.
- Punto anti-ideal: punto (y_1, y_2) en el espacio de objetivos cuyas coordenadas corresponden a los peores valores funcionales de las soluciones del frente de Pareto.

- A posteriori : Método de sumas ponderadas.
- A posteriori: Método epsilon-constraint.
- A priori: Ordenamiento lexicográfico.
- A priori: Programación por metas (goal programming).

Métodos de sumas ponderadas

- Transformar problema multiobjetivo de minimizar $f_1(x)$ y $f_2(x)$, en problema de minimizar $\alpha_1 f_1(x) + \alpha_2 f_2(x)$, para diferentes ponderaciones (α_1, α_2) , manteniendo las restricciones.
- Usualmente $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$.
- Distintos valores de las ponderaciones permiten encontrar distintas soluciones.
- Es conveniente normalizar las funciones objetivo.
- Ventajas: fácil de usar, rápido, no requiere cambiar restricciones, puede ser fácil interpretar las preferencias de usuario.
- Limitaciones: distribución uniforme de las ponderaciones no garantiza distribución uniforme de las soluciones en el frente de Pareto. Distintas ponderaciones pueden dar lugar a soluciones iguales. En problemas no lineales, puede haber soluciones de Pareto que no se pueden encontrar por este método.

Método epsilon-constraint.

- Transformar problema multiobjetivo de minimizar $f_1(x)$ y $f_2(x)$, en problema de minimizar $f_1(x)$, agregando como restricción que $f_2(x) \leq \epsilon_2$, para diferentes valores (ϵ_2), manteniendo las otras restricciones.
- Usualmente ϵ_2 toma valores equidistribuidos entre los valores de f_2 evaluados en el punto ideal y el anti-ideal.
- Distintos valores de las ponderaciones permiten encontrar distintas soluciones.
- Es conveniente normalizar las funciones objetivo.
- Ventajas: fácil de usar, no requiere normalizar las funciones objetivo, permite encontrar soluciones no encontradas con sumas ponderadas.
- Limitaciones: distribución uniforme de las restricciones no garantiza distribución uniforme de las soluciones en el frente de Pareto. Distintas restricciones pueden dar lugar a soluciones iguales, incluso puede dar soluciones dominadas.

- Corresponde a dar un orden de preferencia de las funciones objetivo, por ejemplo si f_1 es preferida frente a f_2 , luego se optimiza en ese orden, agregando como restricciones los valores óptimos obtenidos en las etapas previas.
- Encuentra siempre un punto único dentro del frente de Pareto. Implica dar preferencia absoluta a una de las funciones

Programación por objetivos (Goal Programming)

- Define para cada función objetivo una meta m_i , y variables de decisión auxiliares correspondientes a los desvíos.
- Se minimizan los desvíos (positivos y negativos), ponderados por su importancia.
- Ventajas: fácil de usar, permite encontrar una solución única que representa la importancia asignada a cada función objetivo.
- Limitaciones: requiere normalización de funciones objetivo, requiere conocimiento del problema y las soluciones de cada componente independiente para proponer las metas.

- Olalla Díaz-Yáñez, Timo Pukkala, Petteri Packalen, Manfred J Lexer, Heli Peltola, Multi-objective forestry increases the production of ecosystem services, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 94, Issue 3, July 2021, Pages 386–394, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa041>.
- Abbas Nabhani, Elham Mardaneh, Hanne K. Sjølie, Multi-objective optimization of forest ecosystem services under uncertainty, *Ecological Modelling*, Volume 494, 2024, 110777, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110777>.

- Adriana Bussoni, Frederick Cubbage, Jorge Alvarez Giambruno, Silvopastoral systems and multi-criteria optimization for compatible economic and environmental outcomes, Agricultural Systems, Volume 190, 2021, 103118,
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103118>.
- Eyvindson K, Burgas D, Antón-Fernández C et al. MultiOptForest: An interactive multi-objective optimization tool for forest planning and scenario analysis. Open Res Europe 2024, 3:103
<https://doi.org/10.12688/openreseurope.15812.2>

- Basado en <https://scialert.net/fulltext/?doi=pjbs.2007.514.522>.
- This study was conducted in Research Forest of Karadeniz Technical University Faculty of Forestry. The research forest is in Blacksea Region in Trabzon, Turkey. The study area is 218.8 ha. Altitude of this area range from 400 to 1250 m above the sea level and average slope is about 51 %. 196.3 ha of the study area is productive high forest, 1.8 ha of that is unproductive high forest and 20.7 ha is unproductive coppice.
- Increment percentages simulation method proposed by Eraslan (1981) was used in order to form wood production (Table 3) and basal area (Table 4) matrixes of each stand in study area.

Ejemplo

- Data were collected a total of 132 sample plots in order to calculate amounts of soil loss and water production of the stands. For each plots, all trees were measured for diameter at breast height, total height and age.
While amounts of soil loss of each sample plots were calculated using USLE (Universal Soil Loss Equation), these of water production were obtained by Altun (1995).
- In determining relationship between amounts of soil loss and water production and stand characteristics were used Regression Analysis.
- N rodales. En cada período dentro de un horizonte H , se decide qué porcentaje de la superficie del rodal cosechar. El aporte de agua de un rodal tiene la forma $a + b\text{porcentajeSuperficie cosechada}$ (por hectárea). La pérdida de suelo de un rodal tiene la forma $c + d\text{porcentajeSuperficie cosechada}$ (por hectárea).
Objetivos: maximizar la producción de madera, maximizar el aporte de agua, minimizar la pérdida de suelo.

Ejemplo

- Ejemplo: $N = 4$. Superficies 4,8; 12,3; 8,7; 5,1. Volumen producido por hectárea: 112,1; 112,1; 327,5; 0,4. Horizonte $H = 1$. Producción de agua: 2,61 -0,04 porcentaje superficie. Pérdida de suelo: 1,39 -0,02 porcentaje.