

# Sistema de optimización del trozado de fustes (PIA 10107)

Yapura Pablo

Fassola Hugo Enrique

Crechi Ernesto Héctor

Keller Aldo Esteban

Sañudo Gastón



**UCAR**  
UNIDAD PARA EL CAMBIO RURAL



PROYECTO  
**MANEJO SUSTENTABLE  
DE RECURSOS NATURALES**



¿Cómo surge el problema?

- Mercado demanda **diferentes productos** caracterizados por sus **dimensiones y precio**
- Surge **el problema** de cómo optimizar el trozado del fuste con la finalidad de maximizar los beneficios financieros
- **Ejemplo:** Fuste de 10 m de longitud hasta 15 cm en punta fina, 2 productos (2m, 3m, precios), que conviene?
  - 3 trozas de 3m + 1 m descarte ?
  - 5 trozas de 2m ?
  - 2 trozas de 3m + 2 trozas de 2m ?
- **Mejor decisión:** Dependerá del **precio neto** de cada producto y de la **forma del fuste**
- **Importancia de la optimización:** aumento de la rentabilidad y mejora la articulación entre el sector primario y secundario

## El modelo de optimización del trozado desarrollado comprende básicamente tres elementos:

- Una herramienta que permitan describir de forma precisa la forma y el volumen del fuste: **funciones de forma y volumen compatibles**
- Una **metodología de programación matemática** que permita modelizar y resolver el problema de optimización: **PD**
- **La consolidación del modelo en un software sencillo e intuitivo:** se recurrió a la programación en planillas de cálculo empleando dos lenguajes: uno de alto nivel (es el lenguaje propio de las planillas de cálculo) y uno de nivel intermedio (VBA)

# Modelos de forma-volumen compatibles



**INTA**



**UCAR**

UNIDAD PARA EL CAMBIO RURAL



PROYECTO  
**MANEJO SUSTENTABLE  
DE RECURSOS NATURALES**

# Utilidad de los modelos de forma-volumen compatibles

Son indispensables para poder determinar con precisión la cantidad de trozas que pueden generarse para cada destino, así como su volumen

- las **funciones de ahusamiento** (ecuaciones que describen la forma del perfil longitudinal del fuste)
- las **funciones de volumen** (ecuaciones que permiten estimar el volumen total del fuste así como el volumen de cualquier porción del mismo)
- **Compatibles:** Resultados consistentes

# En que consiste la metodología empleada para su ajuste?

- 1° Ajustar funciones de forma
- 2° Analizar mediante métodos estadísticos la bondad de ajuste de la función ajustada
- 3° A partir de la función de forma derivar por integración el modelo que permite calcular el volumen del fuste como un sólido de revolución de la función de ahusamiento

## Modelo seleccionado

- Sharma y Oderwald (2001)

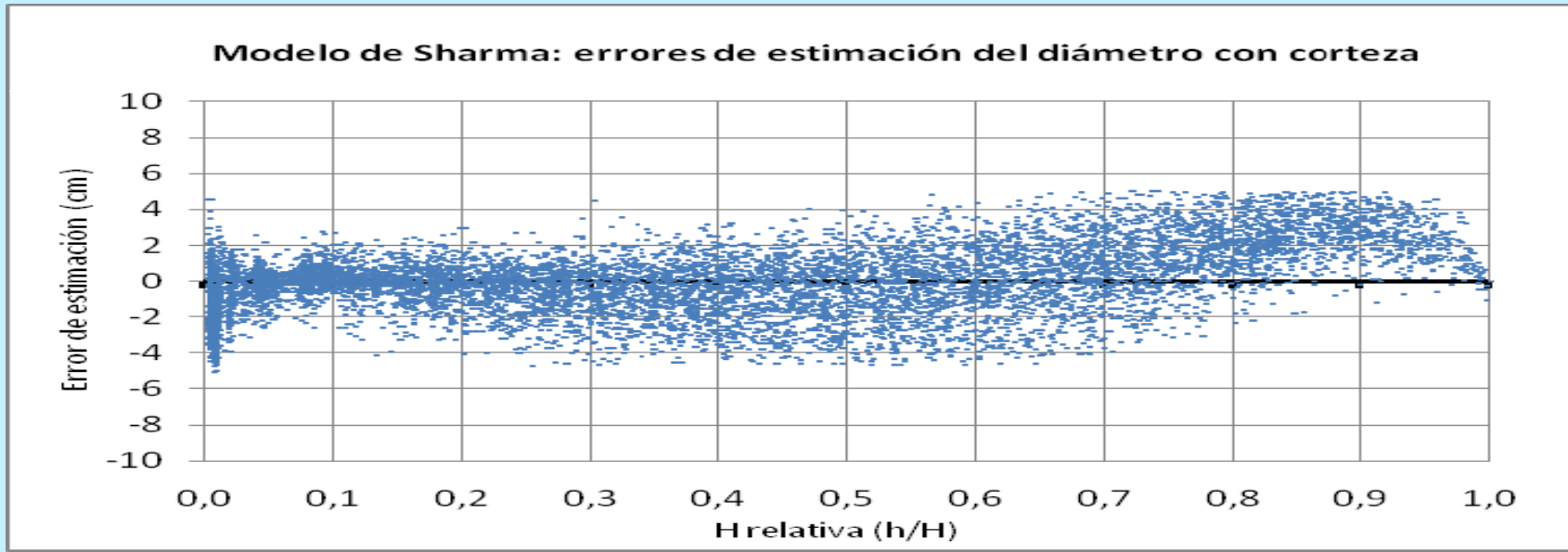
$$d = \sqrt{DAP^2 \cdot \left(\frac{h}{1,30}\right)^{(2-g)} \cdot \left(\frac{H-h}{H-1,30}\right)}$$

Donde:

- $DAP$  es el diámetro a la altura del pecho
- $h$  es la variable independiente que representa la altura del fuste
- $d$  es el diámetro del fuste a la altura  $h$
- $H$  altura total del fuste
- $g$  parámetro que debe determinarse para cada especie



# Distribución de errores de estimación para el diámetro CC de *Pinus taeda*.

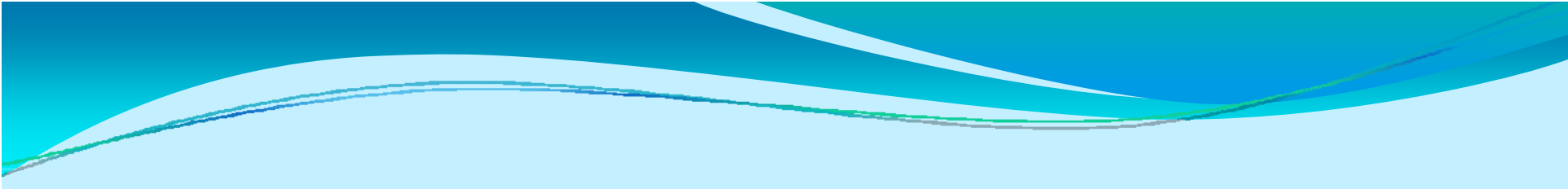


- Dispersión (homogeneidad)
- Sesgo

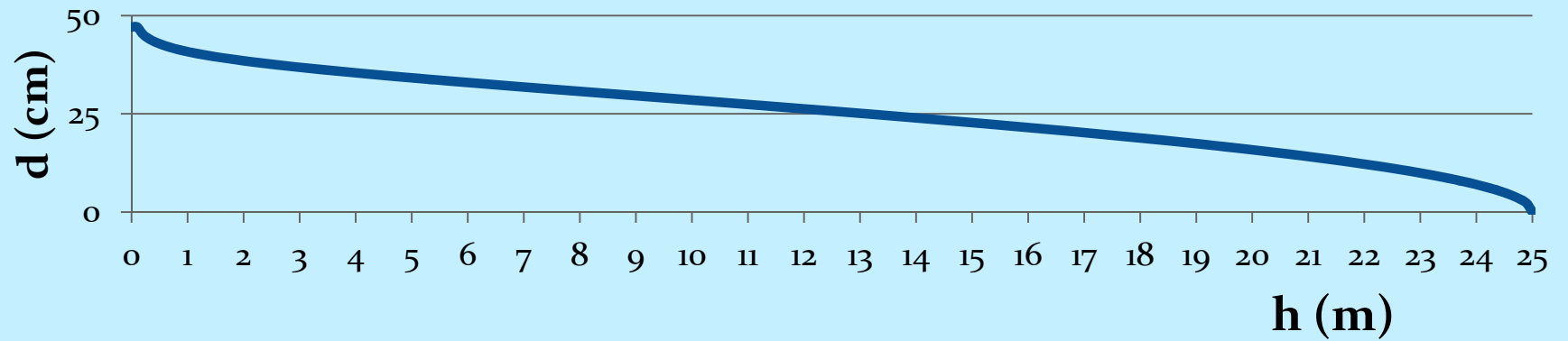
# R<sup>2</sup> y ECM

	MODELO KOZAK				MODELO SHARMA			
		a	b	R <sup>2</sup>	ECM	r	R <sup>2</sup>	ECM
<i>Eucaliptus grandis</i>	Con corteza	-1,80506	0,69314	0,9791	2,73411	2,12089	0,9882	2,59520
	Sin corteza	-1,81265	0,68595	0,9797	2,89033	2,10828	0,9854	2,73964
	Duramen	-2,28193	1,11937	0,9304	3,04622	2,15796	0,9287	3,12126
<i>Pino híbrido</i>	Con corteza	-2,03415	0,80905	0,9822	2,21452	2,09245	0,9823	2,18744
	Sin corteza	-2,00303	0,76285	0,9800	2,38089	2,08185	0,9793	2,34916
<i>Pino taeda</i>	Con corteza	-1,80134	0,61241	0,9700	2,45120	2,08818	0,9851	2,40529
	Sin corteza	-2,00876	0,74332	0,9734	2,66723	2,09134	0,9790	2,60954

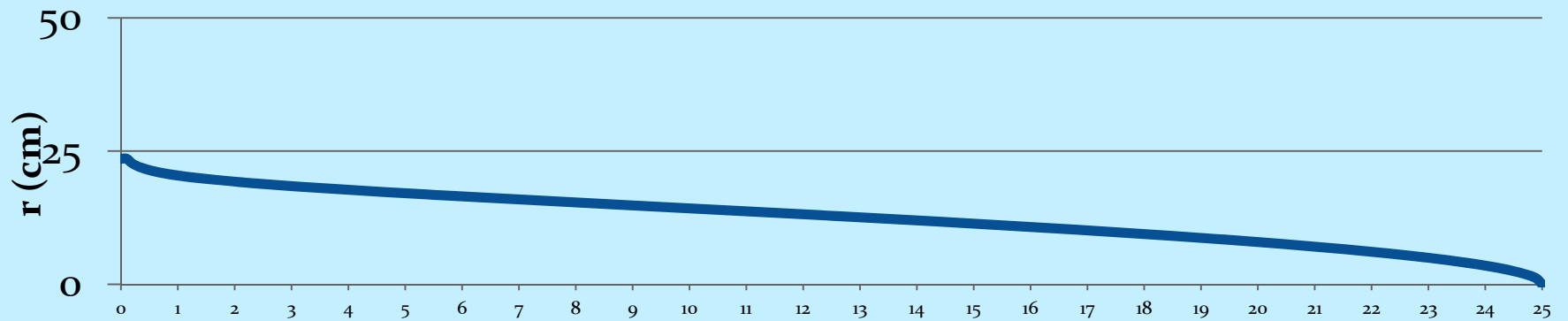
Como puede apreciarse en la tabla, ambos modelos presentan valores elevados del coeficiente R<sup>2</sup> y valores bajos del cuadrado medio de los errores, mientras que la distribución de los errores de estimación resultó homogénea y no sesgada, presentando una dispersión relativamente baja en ambos modelos para las tres especies.



## Función de forma



## Función de forma (radio)



# • Derivacion de los modelos de volumen

- A partir de la función de forma, se obtienen por análisis integral los modelos que permiten calcular el volumen total o volumen parcial del fuste como un sólido de revolución de la función de ahusamiento en torno al eje X:


$$V = \int_0^H \pi \cdot \frac{DAP^2}{4} \cdot \frac{h^{2-\gamma}}{1,30^{2-\gamma}} \cdot \frac{H-h}{H-1,30} dh$$

$$V = \frac{0,78539816339 \cdot 1,30^{\gamma-2} \cdot DAP^2 \cdot H^{4-\gamma}}{(3-\gamma) \cdot (4-\gamma) \cdot (H-1,30)}$$

$$V_{(h_1, h_2)} = 0,78539816339 \cdot 1,30^{\gamma-2} \cdot \frac{DAP^2}{(H-1,30)} \cdot \left[ \frac{(\gamma-4) \cdot h_1^3 \cdot H + (3-\gamma) \cdot h_1^4}{(\gamma^2 - 7 \cdot \gamma + 12) \cdot h_1^\gamma} - \frac{(\gamma-4) \cdot h_2^3 \cdot H + (3-\gamma) \cdot h_2^4}{(\gamma^2 - 7 \cdot \gamma + 12) \cdot h_2^\gamma} \right]$$

## Atributos del sistema de funciones forma-volumen desarrollado

- **El modelo permite estimar tanto el diámetro a cualquier altura a lo largo del fuste como la altura de ocurrencia de cualquier valor de diámetro cuya altura se desea conocer**
- **El sistema permite estimar el volumen total del fuste así como el volumen de cualquier porción del fuste definida a partir de longitudes o de diámetros**

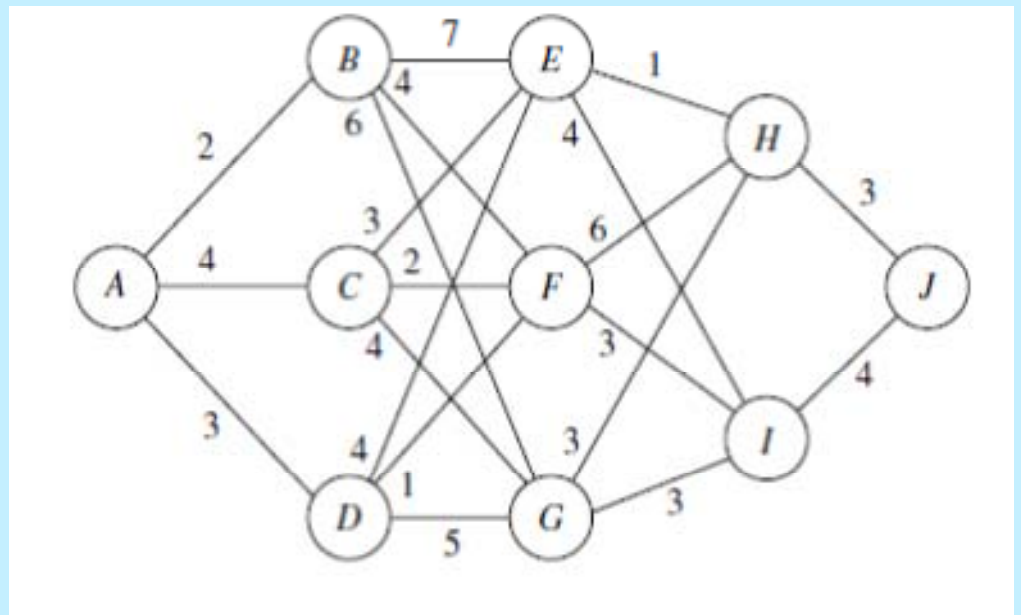


Metodología matemática para la  
optimización:

Programación dinámica

## Caracterización del problema:

- Etapas
- Representación mediante un diagrama de redes
- No lineales
- Decisiones
- Resultado: secuencia de decisiones óptima





# Desarrollo del modelo

(4 etapas)



# 1- Enunciado coloquial del problema:

- Optimizar el trozado transversal de fustes de *Pinus taeda*, "pino híbrido" (*Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* F2) y *Eucalyptus grandis*, considerando la forma y dimensiones del fuste, las dimensiones de las trozas en función de su destino comercial y el precio de los diferentes productos.
- La variable a maximizar será el valor del fuste
- Se desea conocer para cada fuste el patrón óptimo de trozado: lo cual comprende a qué distancia de la base deben realizarse los cortes (lo cual va asociado a los diámetros de los extremos de cada troza), cuántas trozas de cada categoría se obtienen, el volumen de las trozas, sus dimensiones (diámetros y longitud) y su valor (precio del producto multiplicado por el volumen de la troza).

## 2- Formulación: expresar el problema en lenguaje matemático

- **Estructurar el problema** de modo tal que pueda ser resuelto mediante un algoritmo de Programación dinámica.
- **Variables de estado:** longitud y diámetros de la porción de fuste remanente, DAP y longitud total del fuste
- **Variables de etapa:** altura a lo largo del fuste en la etapa considerada
- **Variables de decisión:** tipos de productos (definidos por sus diámetros en ambos extremos y su longitud) con su precio asociado, posibles de obtener en cada etapa
- **Funciones de transformación:** funciones de forma-volumen compatibles y, por supuesto, la función (diferencia) que determina la longitud de fuste remanente luego de cada corte

- **Función objetivo:**

**max Z (\$) = Función de (precio de cada producto, volumen de las trozas generadas para cada tipo de producto)**

Donde:

- Precio → Función de (longitud y DPF de las trozas)
- V → Función de (forma del fuste, longitud de la troza y sus diámetros o posición de la misma en el fuste)

- **Restricciones**

- **Variables independientes (Variables de entrada):**
  - DAP y H total del fuste
  - Especie
  - Volumen deseado: CC o SC
  - Lista de productos demandados:
    - Longitud
    - Diámetro mínimo y máximo admisibles en punta fina
    - Precio por metro cúbico
- Una **interfaz de usuario** sencilla e intuitiva que permita operar el modelo de forma ágil.

## 3- Resolución del problema:

- Las macros que permiten automatizar la carga de datos y el procesamiento de la información
- Las macros para generar la matriz de precios
- La función recursiva que permite optimizar los resultados (algoritmo de optimización de PD propiamente dicho)
- El algoritmo de reconstrucción del patrón óptimo de trozado

# 4- Interpretación e Informe

- Se desarrollaron funciones, instrucciones, y algoritmos que permiten traducir los resultados numéricos a lenguaje coloquial, así como resumir los resultados en tablas sintéticas:
- Algoritmo de reconstrucción del patrón óptimo de trozado
- Algoritmo de "traducción" del lenguaje matemático en "coloquial"
- Modulo de salidas resumidas y salidas detalladas



# Muchas gracias !!!

Ing. Forestal Gastón Sañudo  
gastonsaniudo@yahoo.com.ar