



Selvicultura del carbono

Ricardo Ruiz-Peinado

Gregorio Montero

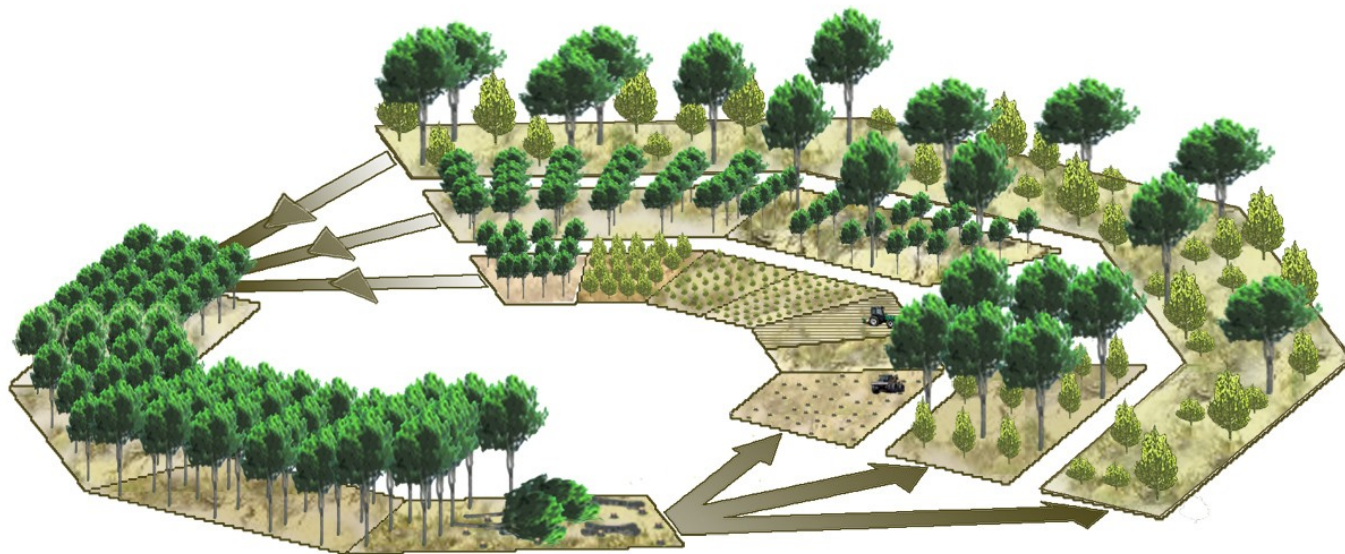
Centro de Investigación Forestal –CIFOR-INIA

Instituto Universitario de Investigación sobre Gestión Forestal

Sostenible UVA-INIA



La **selvicultura** es la ciencia y la técnica relacionada con la intervención razonada del hombre en el bosque, mediante el control de su establecimiento, crecimiento y composición, y cuya finalidad es satisfacer las diversas necesidades y aspiraciones de los propietarios y la sociedad garantizando en todo momento la persistencia de los ecosistemas forestales

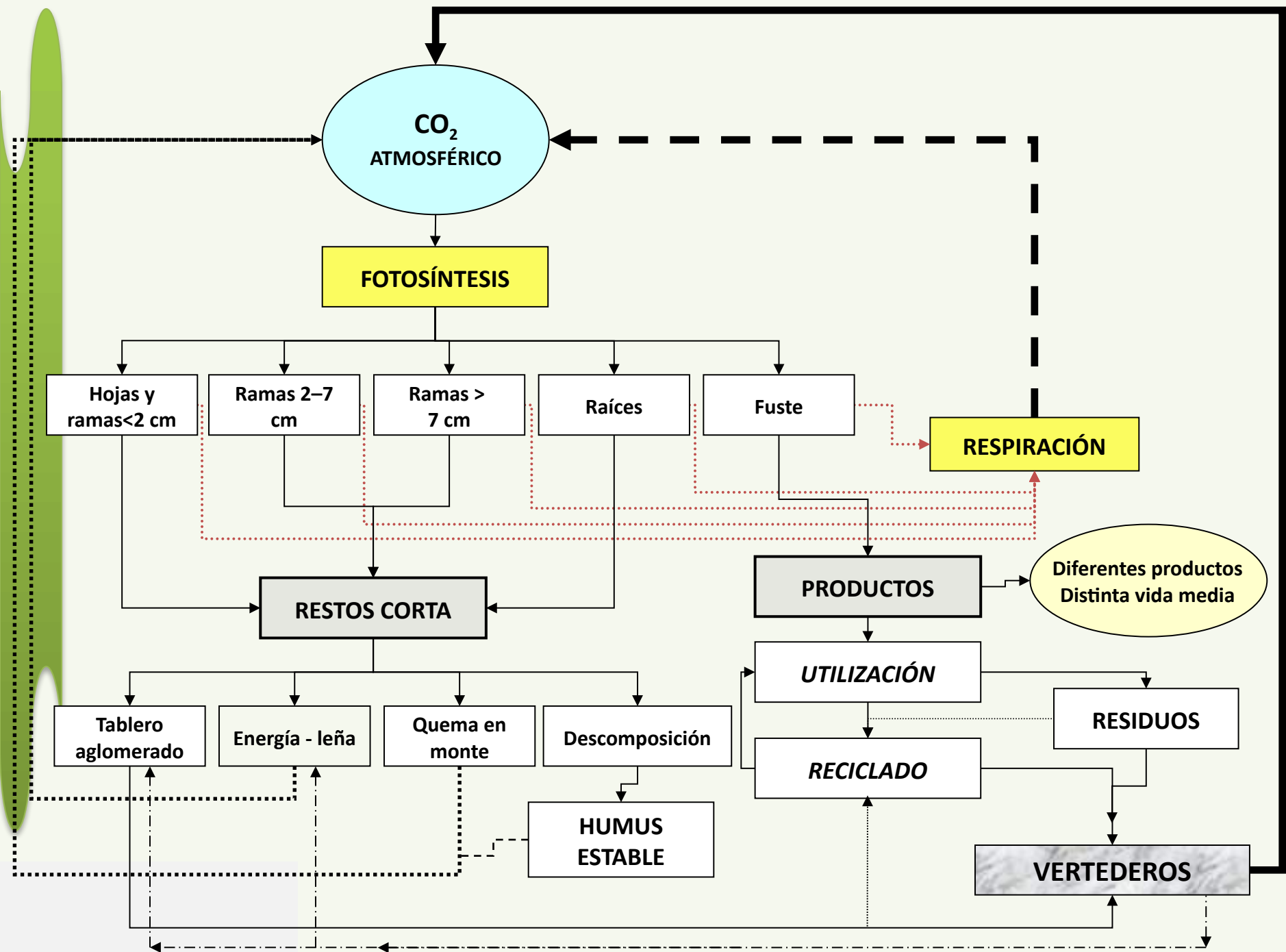


Selvicultura del carbono

- Criterio de *fijación de carbono* como uno más dentro de las múltiples funciones que debe cumplir la masa.
- Indicado tanto a nivel internacional (Protocolo de Kyoto, UNFCCC, EU Forestry Strategy, Criterios e Indicadores Paneuropeos de Gestión Sostenible de Bosques) como a nivel nacional (Plan Forestal Español, Estrategia Española de Cambio Climático y Energías Limpias).

Selvicultura del carbono

- Oportunidad para masas “*poco*” gestionadas en la actualidad:
 - Repoblaciones densas
 - Montes bajos
 - Formaciones abiertas
 -



Estrategias forestales

- ✓ Incremento y conservación de las existencias de biomasa en pie, bien variando la silvicultura de los bosques o bien repoblando.
- ✓ Incremento del carbono fijado en productos de larga duración.
- ✓ Sustitución de otros productos en la construcción que causan mayores emisiones por productos forestales.
- ✓ Uso de biomasa forestal como combustible en sustitución de combustibles fósiles.

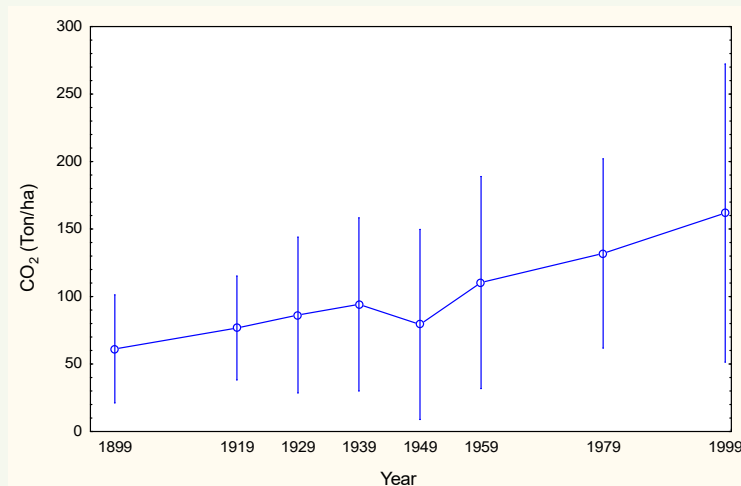
Estrategias forestales

✓ Incremento y conservación de las existencias de biomasa en pie.

- CONSERVACIÓN

- SELVICULTURA
- ORDENACIÓN

- PREVENCIÓN DE INCENDIOS



Masa ordenada de Pino negral (Almazán, Soria)

Estrategias forestales

✓ Incremento y conservación de las existencias de biomasa en pie.

- INCREMENTO

- *SELVICULTURA DEL CARBONO*

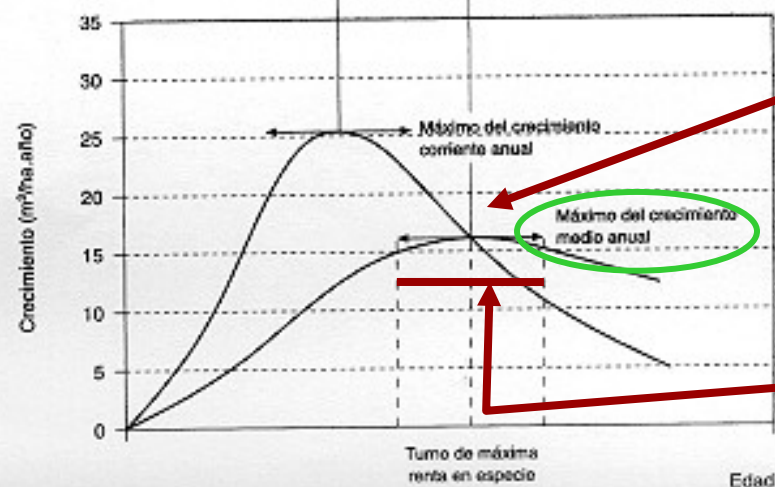
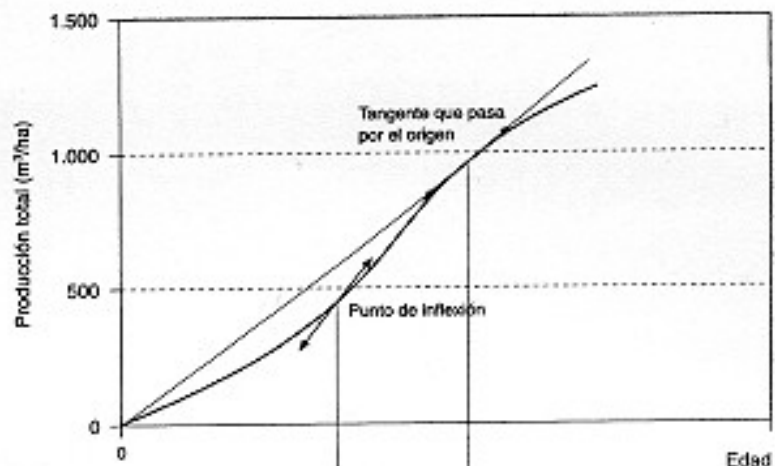
- Alargando el turno
 - Edad e intensidad de las claras
 -

- REPOBLACIONES



Estrategias forestales

- Silvicultura del carbono: Incremento del turno



Criterio de máxima renta en especie

Criterio habitualmente utilizado en los bosques españoles

CREC. MEDIO = CREC. CORRIENTE

MESETA PRODUCTIVA

Estrategias forestales

- Selvicultura del carbono: Incremento del turno

Indice de Sitio 17

Turno (años)	CM (Tn/año)	Carbono (Tn/ha)	% carbono Corta final
83	2.16	179.70	54.61
137	1.47	203.09	59.60

Pinus sylvestris
Sistema Ibérico Septentrional

Indice de Sitio 23

Turno (años)	CM (Tn/año)	Carbono (Tn/ha)	% carbono Corta final
69	2.99	206.73	68.12
122	2.42	294.99	77.66

Bravo et al. 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. Eur J For Res 17: 225-234

Estrategias forestales

- Selvicultura del carbono: *Claras*

- Reducir la competencia para procurar estabilidad biológica y mejorar el estado sanitario
- Regular o mantener la composición específica y preparar la masa para la regeneración natural
- Anticipar la producción, de tal manera, que la producción al final del turno sea máxima
- Incrementar el valor y dimensiones de los productos.



Estrategias forestales

- Repoblaciones

Actividad	Tasa de secuestro de C (Mg C ha ⁻¹ a ⁻¹)
Agricultura y Selvicultura	
1. Agricultura: Laboreo de conservación, rotaciones, fertilizaciones orgánicas, <i>etc.</i>	0,20-0,60
2. Praderas: Control de pastoreo, especies mejoradas, gestión del fuego	0,20-0,40
3. Sistemas forestales: Cortas selectivas, preparaciones no intensivas, gestión de nutrientes.	0,10-0,20

**Menores aportes externos
que en la agricultura**



Captura de carbono en ecosistemas agrícolas y forestales de regiones templadas y frías
Fuente: I.P.C.C., 2001

Estrategias forestales

✓ Incremento de las existencias de biomasa en pie.

✓ Incremento del carbono fijado en productos de larga duración.

- SELVICULTURA



Estrategias forestales

- ✓ Incremento de las existencias de biomasa en pie.
- ✓ Incremento del carbono fijado en productos de larga duración.
- ✓ Sustitución por productos forestales de aquellos productos que causan mayores emisiones en su fabricación.
 - Fomento uso de la madera y corcho
 - Selvicultura



Estrategias forestales

- ✓ Incremento de las existencias de biomasa en pie.
- ✓ Incremento del carbono fijado en productos de larga duración.
- ✓ Sustitución de mat. usados en la construcción por productos forestales.
- ✓ **Uso de biomasa como combustible en sustitución de combustibles fósiles.**
 - Selvicultura de montes bajos
 - Planificación de aprovechamientos

Estrategias forestales

- Uso de biomasa como combustible en sustitución de combustibles fósiles.

- **Estrategia para el uso energético de la biomasa forestal residual (en fase de preparación).**

- *Biomasa forestal residual*: Aquella producida durante las labores selvícolas o aprovechamientos finales en masas forestales, sin considerar fustes ni ramas con diámetro mayor de 7 cm en punta delgada.
 - *Objetivo*: Fomentar el uso de la biomasa forestal residual (como fuente de energía renovable)

SELVICULTURA DEL CARBONO

- Modificar turnos de corta
- Intensificar programas de claras
- Aprovechar los restos de corta
- Puesta en gestión de montes bajos
- Fomentar la limpieza del sotobosque (doble enfoque)

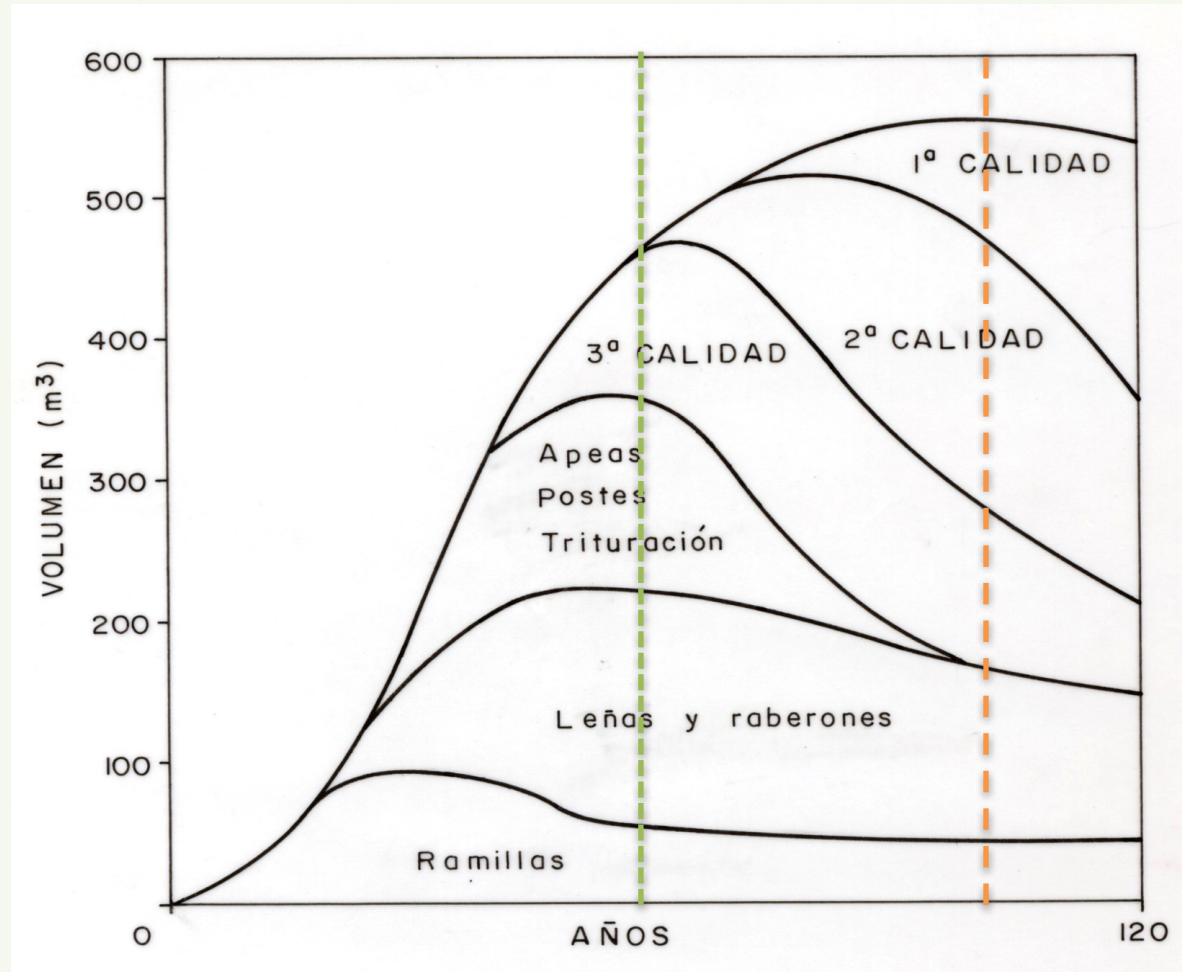
SELVICULTURA DEL CARBONO

HERRAMIENTAS

Selvicultura del carbono

- MODELOS SELVÍCOLAS

- Turnos -
Productos



Selvicultura del carbono

- **MODELOS SELVÍCOLAS**

- Tablas de producción + Modelos de estimación de biomasa

Edad	Altura dominante	Masa principal antes de la clara					Masa extraída				Masa total			Edad
		N	dg	G	hm	V	Ne	dg	Ve	Ve acu	Vt	C.Corriente	Crec. Medio	
20	3,6	8717	5,6	21,8	2,6	107,3	3932	4,8			107,3	5,37		20
30	7,3	4785	10,3	39,9	6,1	192,1	1966	8,9	39,3	39,3	192,1	6,40	8,47	30
40	10,9	2819	15,3	52,1	9,6	302,4	1212	12,5	71,5	110,8	341,7	8,54	14,96	40
50	14,2	1607	21,4	57,8	12,7	403,6	527	16,7	72,7	183,5	514,4	10,29	17,27	50
60	16,9	1080	26,7	60,5	15,3	483,9	271	21,4	72,9	256,4	667,4	11,12	15,31	60
70	19,0	809	31,2	61,7	17,4	543,4	160	24,7	64,5	320,9	799,8	11,43	13,24	70
80	20,7	649	34,9	62,2	19,0	589,8	100	28,6	59,1	380	910,7	11,38	11,09	80
90	22,0	549	38,0	62,4	20,2	623,5	68	31,0	50,2	430,2	1003,5	11,15	9,28	90
100	23,0	481	40,6	62,3	21,2	647,8	46	33,0	40,3	470,5	1078,0	10,78	7,45	100
110	23,7	435	42,6	62,1	21,9	663,1	36	34,6	35,7	506,2	1133,0	10,31	5,56	110
120	24,3	399	44,4	61,9	22,4	675,8	26	36,1	28,6	534,8	1182,0	9,85	4,83	120
130	24,7	373	45,8	61,6	22,8	682,8	21	37,2	25,0	559,8	1217,6	9,37	3,56	130
140	25,0	352	47,1	61,2	23,1	686,9	16	38,2	20,3	580,1	1246,7	8,90	2,91	140
150	25,2	336	48,0	60,9	23,3	688,5	14	38,9	18,6	598,7	1268,6	8,46	2,19	150
160	25,4	322	49,0	60,7	23,5	690,7	11	39,7	15,3	614	1289,3	8,06	2,07	160
170	25,5	311	49,7	60,3	23,6	690,0	11	40,3	15,9	629,9	1304,0	7,67	1,47	170
180	25,6	300	50,5	60,0	23,7	689,2								180

Tabla de producción de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama.
CALIDAD 23. Claras moderadas. Rojo y Montero, 1996.

Selvicultura del carbono

- **MODELOS SELVÍCOLAS**
 - Tablas de producción + Modelos de estimación de biomasa

Ecuaciones

$$\bullet B_f = a_1 \cdot d^2 \cdot h$$

$$\bullet Br_7 = 0 \text{ si } d < 40$$

$$\bullet Br_7 = (a_2 + a_3 \cdot d^2 \cdot h + a_4 \cdot d \cdot h) \text{ si } d \geq 40$$

$$\bullet Br_{27} = a_5 \cdot d^{b_1} \cdot h^{b_2}$$

$$\bullet Br_{2+h} = a_6 \cdot d^{b_3} \cdot h^{b_4}$$

$$\bullet B_{\text{total aérea}} = \sum (B_f + Br_7 + Br_{27} + Br_{2+h})$$

$$\bullet B_{\text{radical}} = a_7 \cdot d^2$$

Parámetro	Estimación	Error std.
a1	0,01543	0,000087
a2	183,1522	32,9084
a3	0,008091	0,000783
a4	-0,52328	0,0677
a5	0,029576	0,00529
a6	0,534611	0,0809
a7	0,1338	0,0142
b1	2,71439	0,1340
b2	-0,86862	0,1953
b3	2,194967	0,0940
b4	-1,15155	0,1345

Modelos de estimación de biomasa para *Pinus sylvestris* L.
Ruiz-Peinado et al. (2009)

Selvicultura del carbono

• MODELOS SELVÍCOLAS

Clara moderada							Clara fuerte						
MASA TOTAL							MASA TOTAL						
Edad	Fuste	R7	R27	R2	TOTAL AÉREA	Radical	Edad	Fuste	R7	R27	R2	TOTAL AÉREA	Radical
20	11,0	0,0	12,1	68,0	91,1	36,6	20	11,0	0,0	12,1	68,0	91,1	36,6
30	51,4	0,0	20,1	75,2	146,6	67,9	30	47,3	0,0	16,7	53,1	117,0	67,3
40	112,3	0,0	23,8	60,3	196,3	88,3	40	95,9	0,0	20,0	44,3	160,3	86,8
50	172,1	0,0	26,1	50,5	248,7	98,5	50	133,8	0,0	22,4	36,8	192,9	91,5
60	210,3	0,0	25,8	41,0	277,2	103,0	60	165,4	0,0	23,3	32,0	220,7	93,8
70	240,5	0,0	25,8	35,9	302,2	105,4	70	190,2	0,0	23,7	28,8	242,6	94,9
80	257,7	0,0	25,3	32,1	315,1	105,8	80	209,7	15,3	24,0	26,8	275,9	95,8
90	270,8	0,0	25,2	29,9	325,8	106,1	90	223,6	14,8	24,2	25,5	288,0	96,1
100	279,4	7,5	24,9	28,1	339,8	106,1	100	236,1	15,5	24,3	24,5	300,4	96,7
110	282,8	7,2	24,6	26,7	341,3	105,6	110	243,9	16,3	24,2	23,8	308,2	96,7
120	286,1	8,0	24,6	25,9	344,5	105,2	120	250,2	17,6	24,4	23,4	315,6	97,0
130	286,6	8,8	24,4	25,1	344,9	104,7	130	255,5	18,5	24,4	23,1	321,4	97,3
140	288,2	10,0	24,4	24,7	347,3	104,5	140	258,2	19,2	24,3	22,7	324,5	97,0
150	286,3	10,8	24,2	24,1	345,5	103,6	150	261,0	19,6	24,4	22,6	327,6	97,2
160	287,6	12,0	24,3	23,9	347,8	103,4	160	263,6	20,1	24,4	22,4	330,6	97,4
170	285,7	12,8	24,2	23,6	346,3	102,8	170	264,4	20,3	24,3	22,3	331,3	97,3
180	286,0	13,8	24,3	23,5	347,5	102,4	180	266,3	20,5	24,4	22,3	333,5	97,6

Tabla de producción de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama.
CALIDAD 23. Claras moderadas y fuerte. Rojo y Montero, 1996.

Selvicultura del carbono

- **MODELOS SELVÍCOLAS**
 - Tablas de producción + Modelos de estimación de biomasa

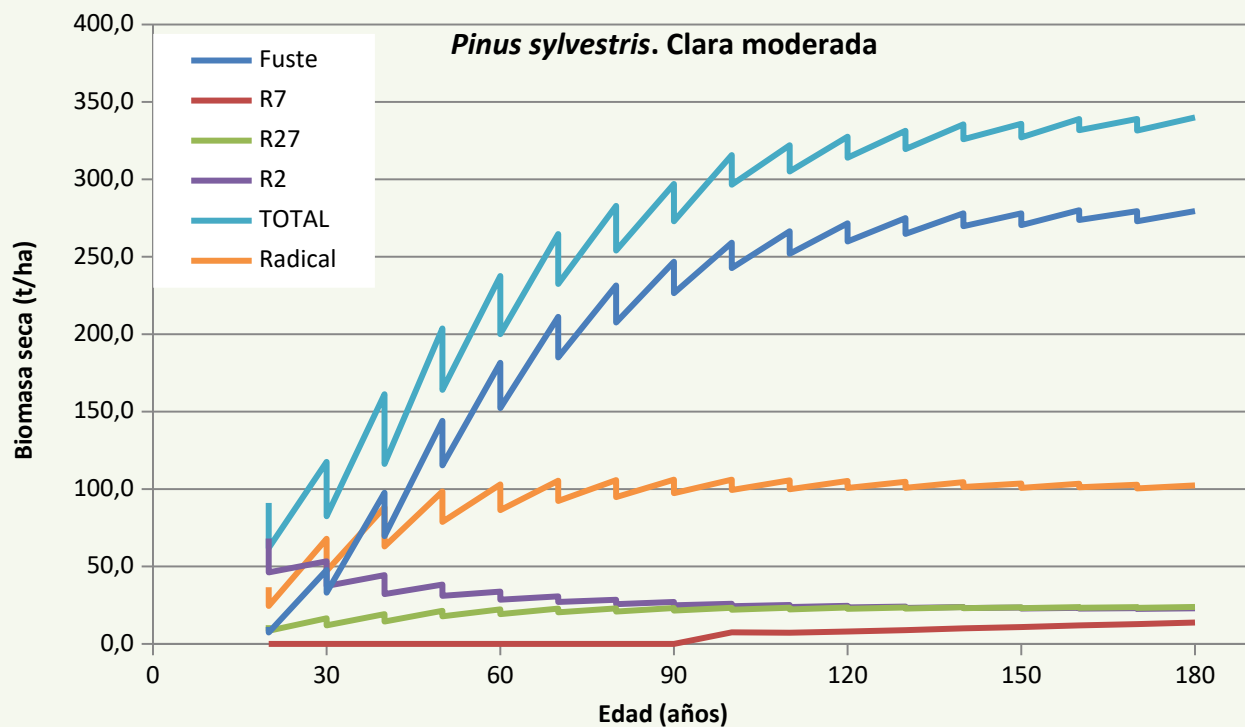


Tabla de producción de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama. **Régimen moderado de claras.** CALIDAD 23

Selvicultura del carbono

- MODELOS SELVÍCOLAS
 - Tablas de producción + Modelos de estimación de biomasa

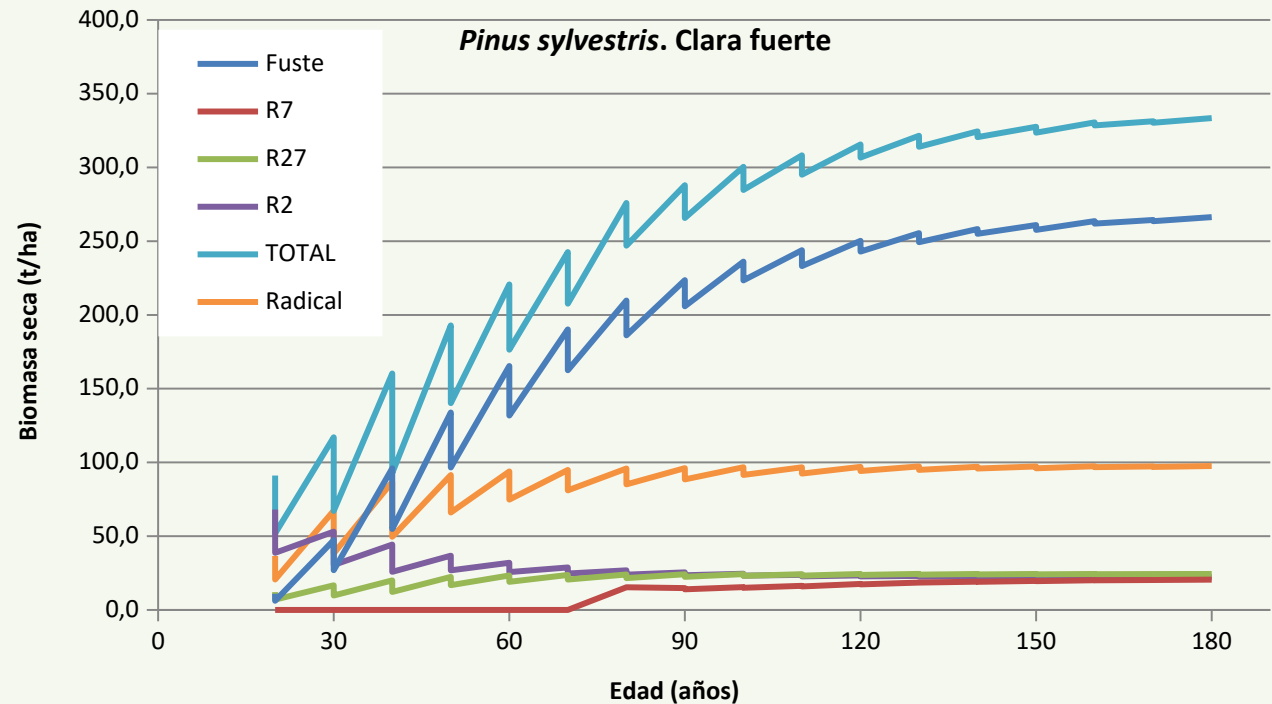
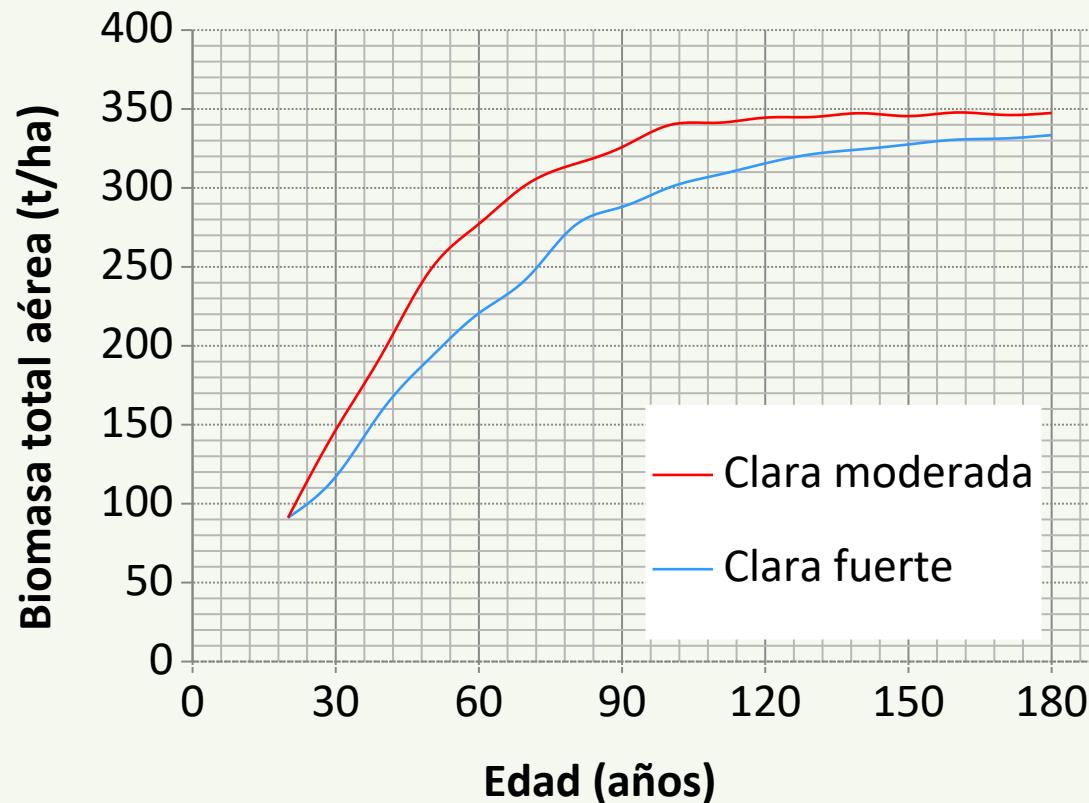


Tabla de producción de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama. **Régimen fuerte de claras.** CALIDAD 23

Selvicultura del carbono

- Intensidades de clara



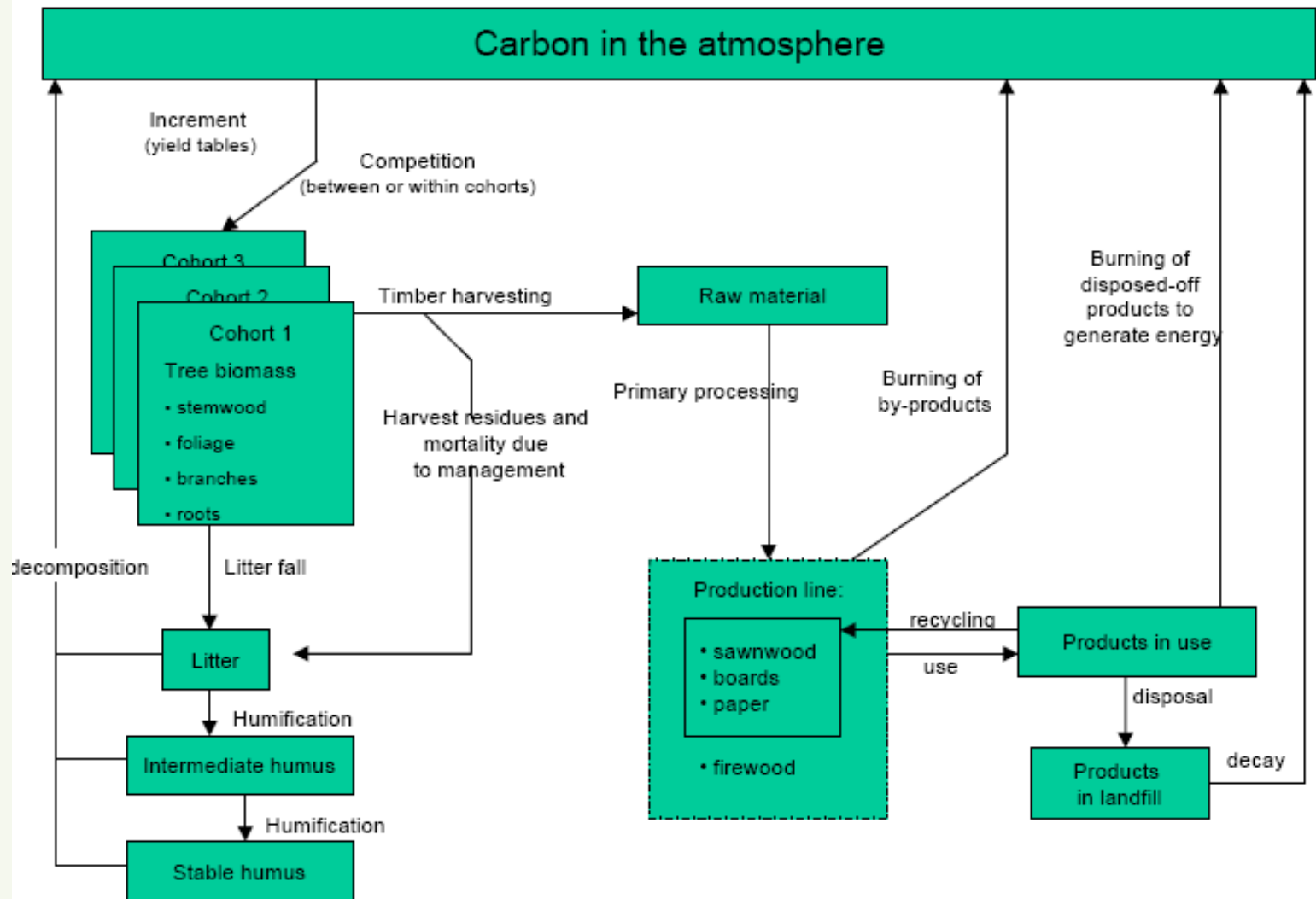
Selvicultura del carbono

- Utilización de programas para realizar simulaciones sobre la gestión forestal del carbono y maximizar la mayor fijación (biomasa viva, productos, bioenergía, suelos..)
 - CO2fix
 - Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3)
 - CAMFOR (Carbon Accounting Model for Forests) –Australia
 -

CO2FIX

- CASFOR
 - Mohren & Klein Goldewijk, 1990; Mohren et al., 1999; Maser et al. 2003.
 - Versión 3.2
- Simula el almacenamiento y los flujos de carbono en la masa forestal
- Funcionamiento en módulos
 - Biomasa
 - Suelo
 - Productos
 - Bioenergía

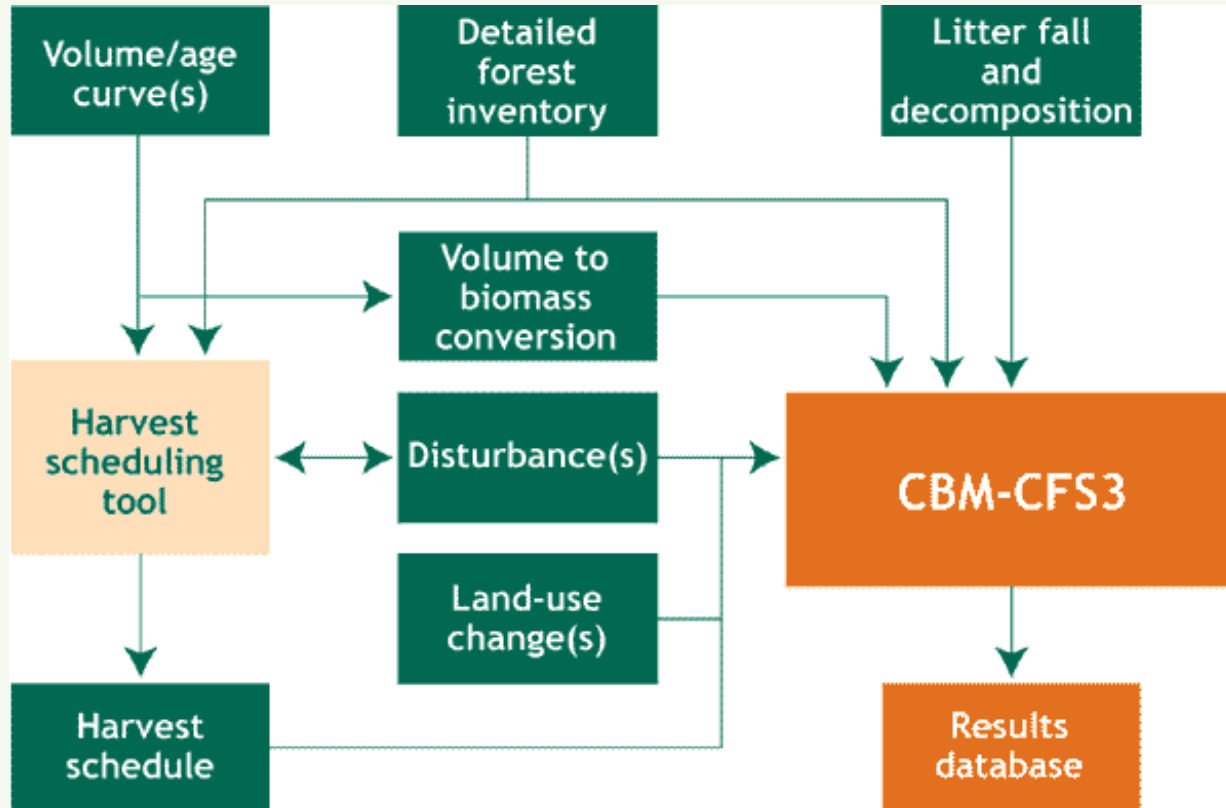
CO2FIX



Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3)

- CANADIAN FOREST SERVICE
 - Kurz et al., 2002; Kurz et al., 2009.
 - Versión 1.0
- Simula la dinámica de los almacenes de carbono en relación con el Protocolo de Kyoto (biomasa aérea y radical, hojarasca, madera muerta y carbono orgánico del suelo)

Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3)

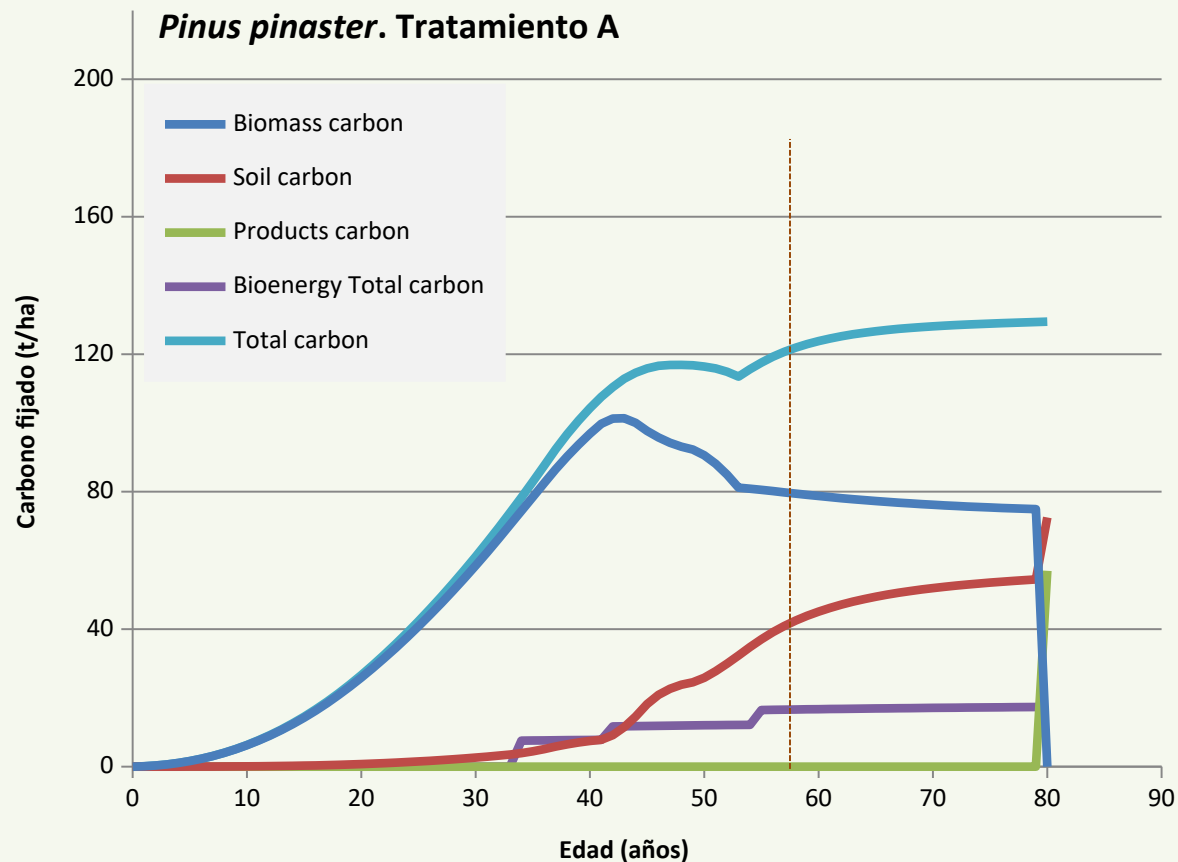


CO2FIX

- Simulaciones CO2fix
 - Número de claras
 - Intensidad
 - Longitud del turno
 - Calidades de estación
 - Destino de los productos
 - Vidas medias de los productos
 - Combustible a sustituir mediante biomasa
 -

CO2FIX

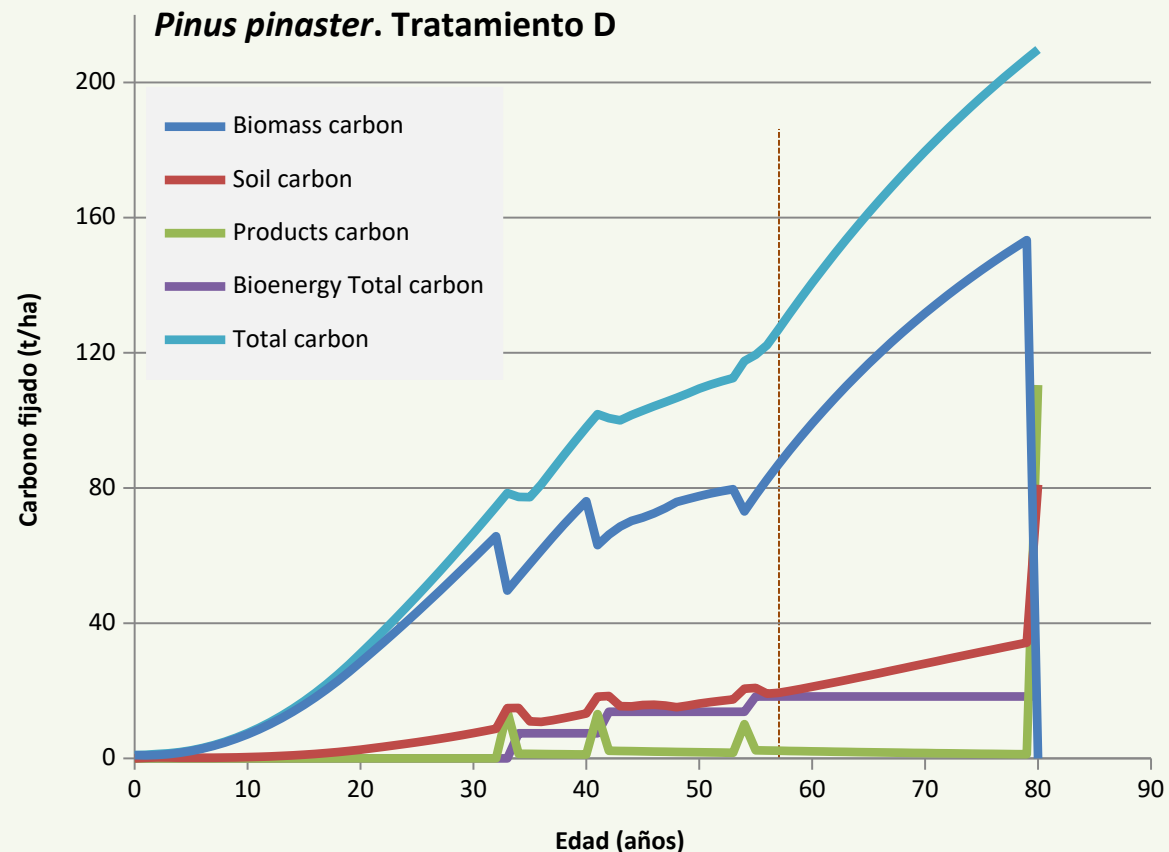
- Simulaciones CO2FIX
 - Situación real. Fuencaliente (CR)
 - Masa regular
 - *Pinus pinaster*
 - Trat. A
 - No hay claras
 - Turno 80 años



CO2FIX

- Simulaciones

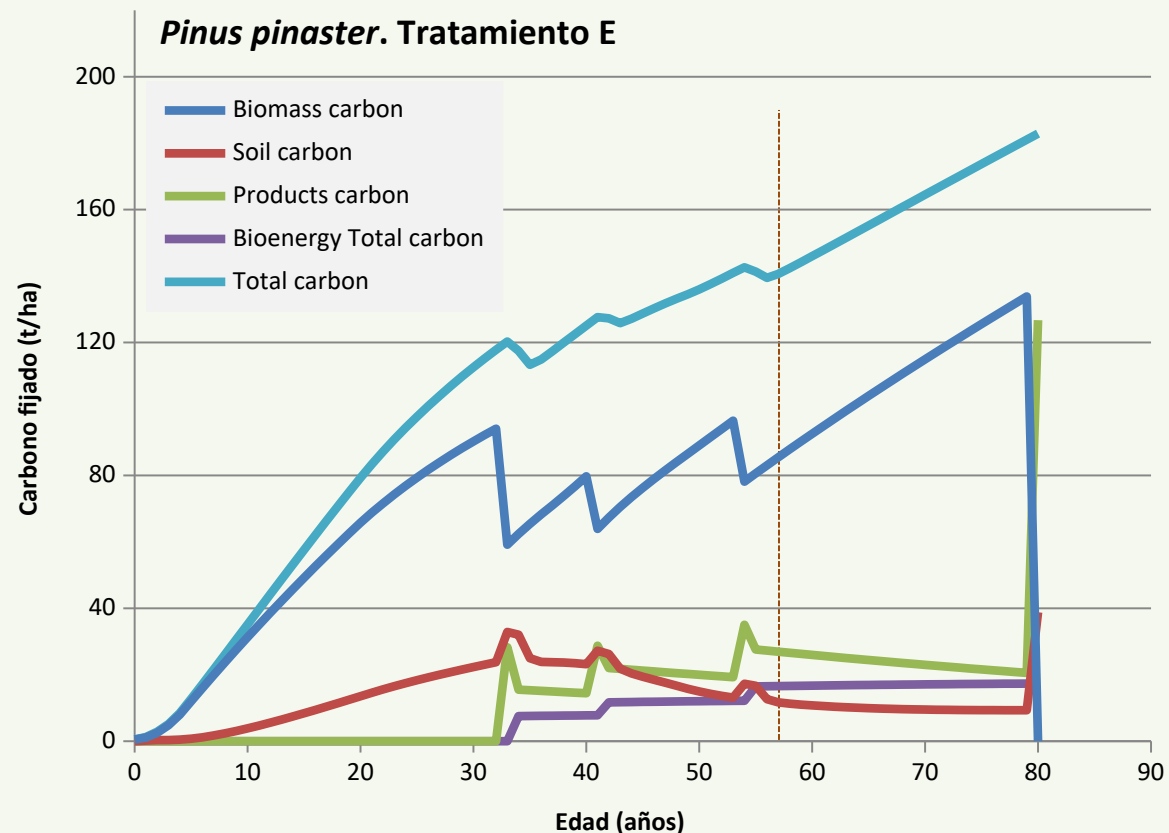
- Situación real. Fuencaliente (CR)
- Masa regular
- *Pinus pinaster*
- Trat. D
- 3 claras
- Turno 80 años



CO2FIX

- Simulaciones

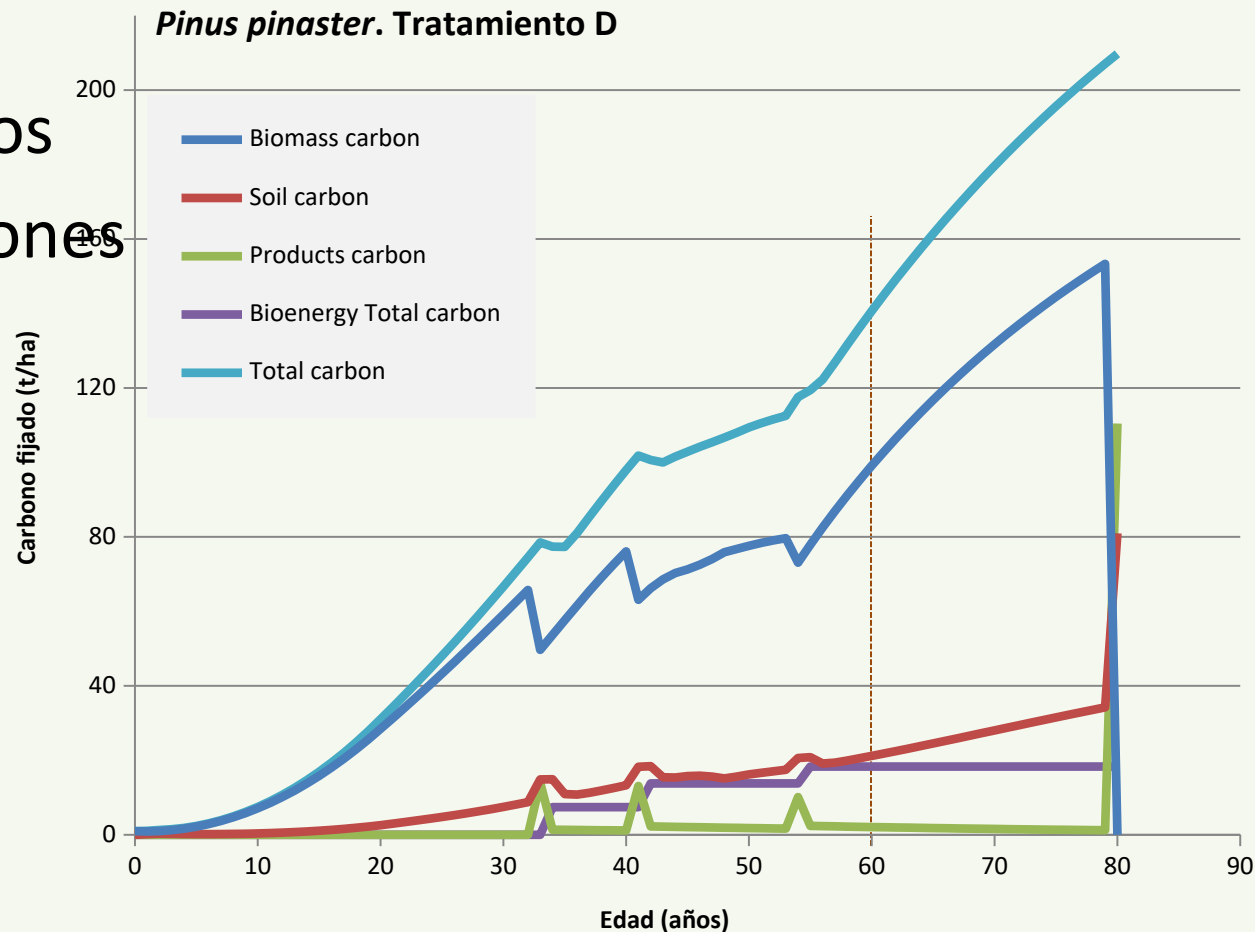
- Situación real. Fuencaliente (CR)
- Masa regular
- *Pinus pinaster*
- Trat. E
- 3 claras
- Turno 80 años



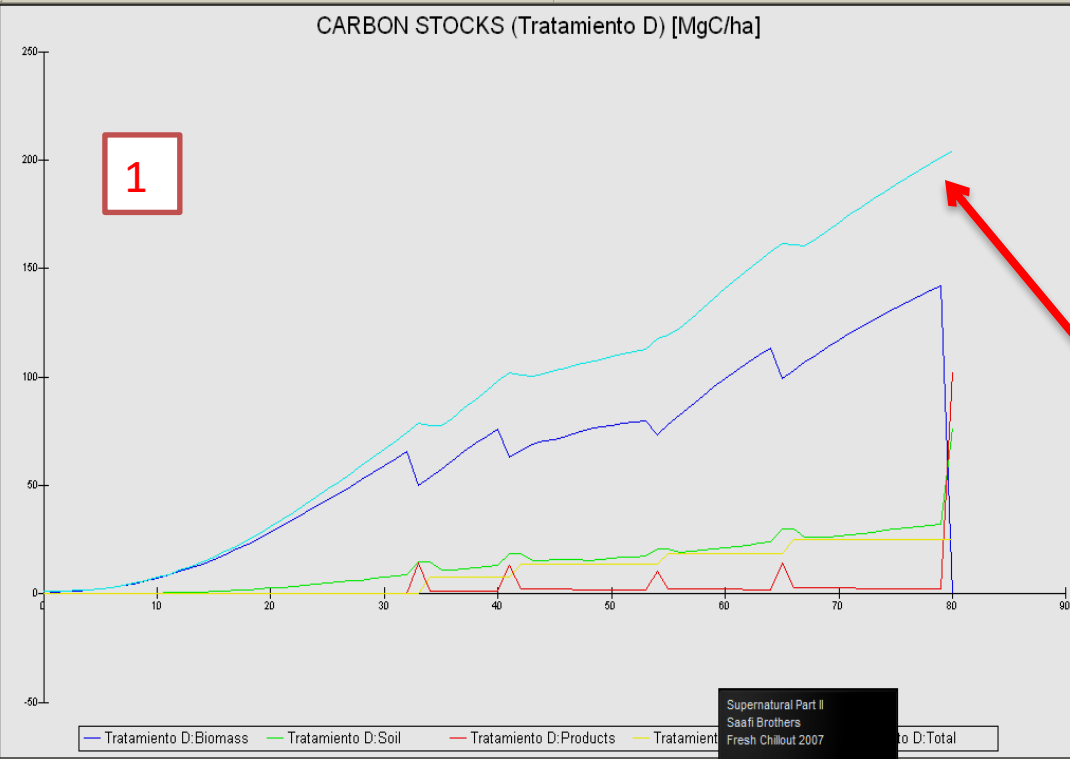
CO2FIX

- Simulaciones selvícolas

- Parcela real
- Turno 80 años
- 3 intervenciones
- 210 t C/ha



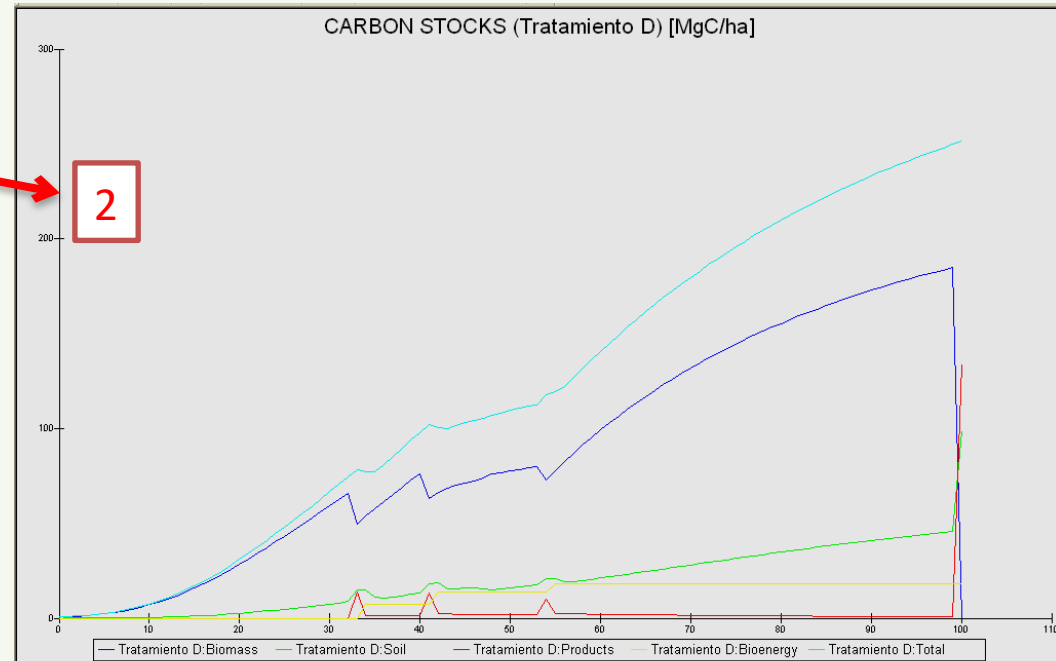
CARBON STOCKS (Tratamiento D) [MgC/ha]



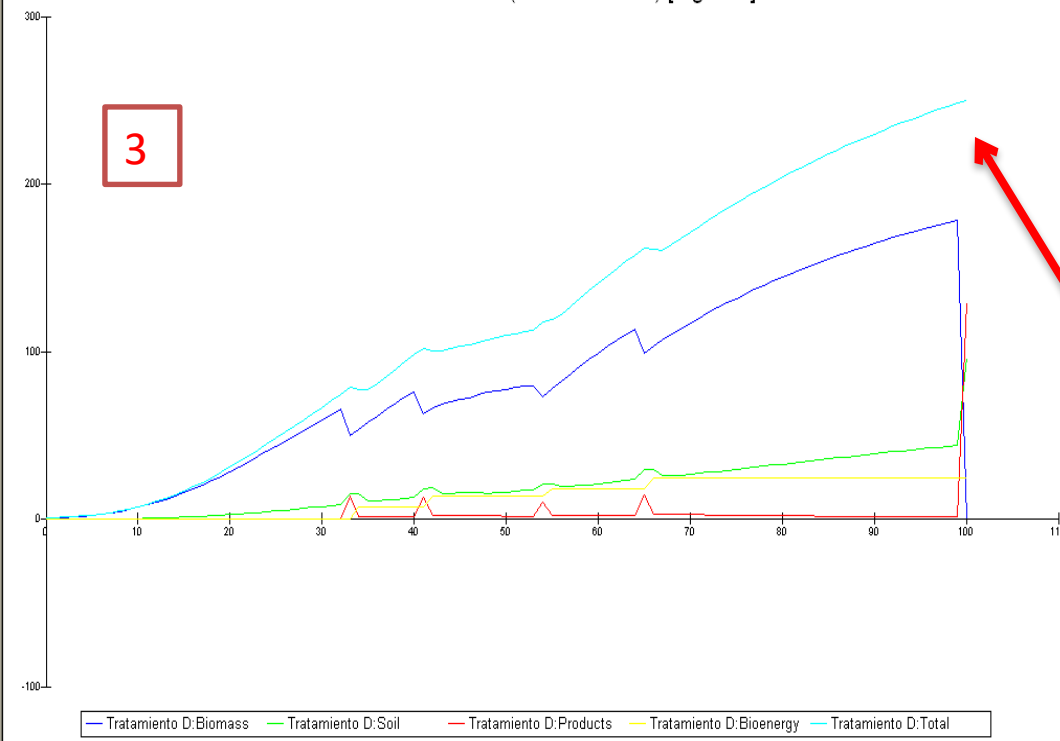
CO2fix

- Simulación 1
- Turno 80 años
- 4 intervenciones
- 204 t C/ha total

- Simulación 2
- Turno 100 años
- 3 intervenciones
- 251 t C/ha total



CARBON STOCKS (Tratamiento D) [MgC/ha]

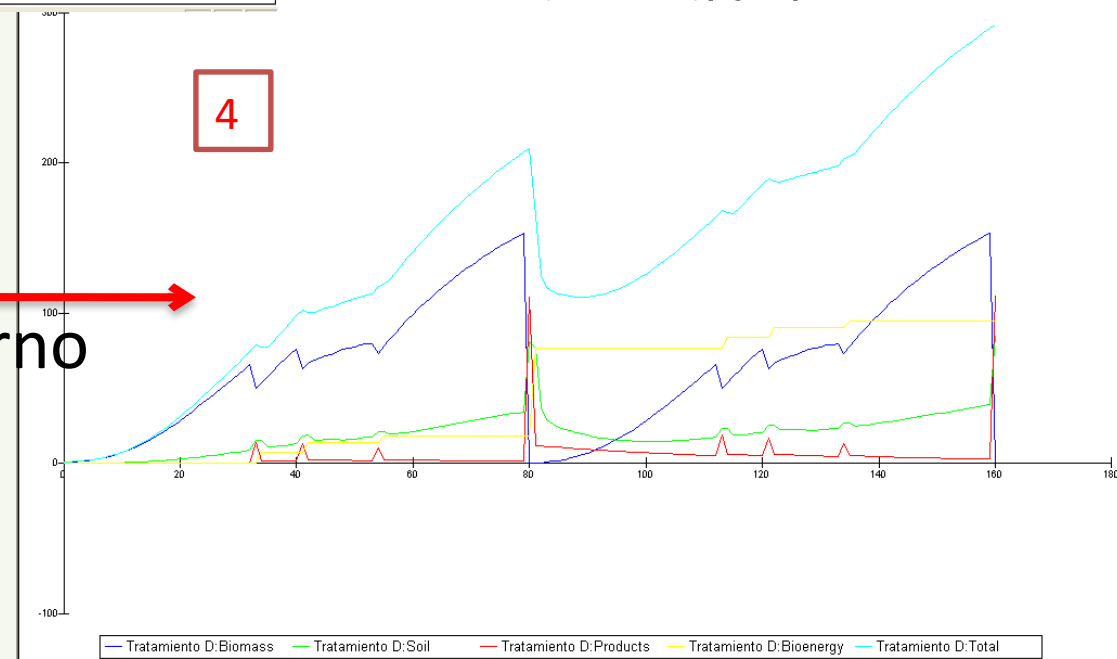


CO₂fix

- Simulación 3
- Turno 100 años
- 4 intervenciones
- 250 t C/ha total

CARBON STOCKS (Tratamiento D) [MgC/ha]

- Simulación 4
- T= 80 años+80 años
- 3 intervenciones/turno
- 300 t C/ha total



Selvicultura del carbono

- **INPUTS**

- Inventarios forestales
- Modelos de crecimiento (Relación edad/volumen)
- Modelos de estimación de biomasa
- Características del suelo
- Tasas de mortalidad, descomposición, desfronde,...
- Aprovechamientos: plan de aprovechamientos, proyectos de ordenación, ...

Selvicultura del carbono

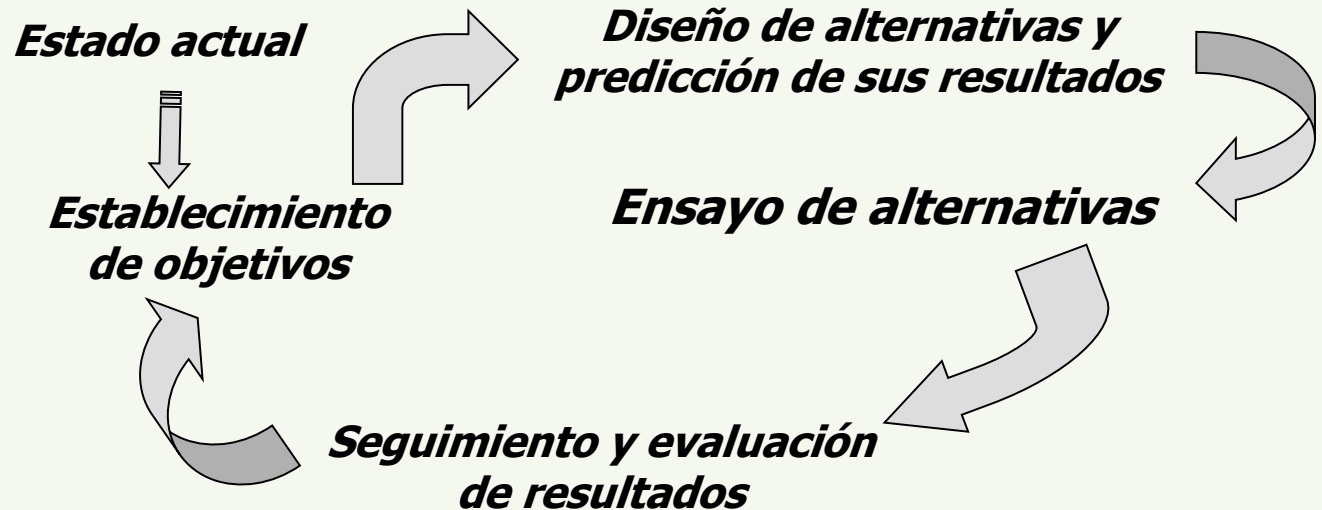
- **Variables de manejo**

- Densidades
- Claras (número, intensidad, rotación)
- Longitud del turno
- Posibilidad de simulaciones con introducción de otra especie (masa mixta)



Nuevos instrumentos

✓ Gestión adaptativa



Principios:

1. La gestión debe partir de 'experimentos' a escala real basados en nuestro conocimiento científico de modo que se puedan probar las hipótesis subyacentes y comprobar la validez de las predicciones para con los resultados obtenidos mejorar nuestra gestión.

2. La gestión del medio natural debe ser técnica, pero con una base ecológica y antropológica, de forma que su desarrollo sea científicamente admisible, técnicamente posible, económicamente viable y socialmente aceptable.