

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Investigación de Operaciones en la Industria Forestal	1
1.2. Planificación Forestal	2
1.2.1. Consumo Industrial de Madera	3
1.3. Objetivos de Investigación	4
2. Marco Teórico	6
2.1. Problema de Planificación Estocástico Entero Mixto	7
2.1.1. Principio de No-Anticipatividad	8
2.1.2. Árboles de Escenarios	8
2.2. Generación de Escenarios de Precios de Pulpa	10
2.2.1. Modelo Browniano Generalizado	11
2.2.2. Modelo EGARCH	11
2.3. Planificación Forestal Integrada	12
2.3.1. Cadena de Producción Forestal Integrada	12
3. Formulación Matemática del Problema de Optimización Estocástico Mixto	16
3.1. Sets de Índices	16
3.2. Parámetros	17
3.3. Variables de Decisión	19
3.4. Función Objetivo	19
3.5. Restricciones	21
4. Resolución del Problema Estocástico	26
4.1. Python Optimization Modeling Objects (PYOMO)	26
4.2. Módulo PYSP	26
4.3. Implementación	28
4.3.1. Simulación de Bosque Tipo	28
4.3.2. Simulación de Escenarios de Precio	28
4.4. Uso de la Relajación Lineal	31
5. Resultados	33
5.1. Utilidad Esperada	33
5.2. Ingresos por Venta versus Costes	36
5.3. Destino de trozos bajo cada instancia	39
6. Conclusión	42

Bibliografía	45
Apéndices	47
A. Resumen de precios posibles en Instancias	47
A.1. Valores de precios en Instancia 1	47
A.2. Valores de precios en Instancia 2	48
A.3. Valores de precios en Instancia 3	49
B. Heurística Progressive Hedging	50
B.1. Progressive Hedging (PH)	50
B.1.1. Función Objetivo	50
B.1.2. Algoritmo utilizado en PH	52
C. Resultados de optimizar el problema determinista (PD), bajo distintos factores de descuento	53
C.1. Resultados para Factor de descuento 1%	54
C.1.1. Parte 1: Horizonte de planificación de Negocio (\$USD)	54
C.1.2. Parte 2: Horizonte de planificación de Anticipación (\$USD)	55
C.2. Resultados para Factor de descuento 4%	56
C.2.1. Parte 1: Horizonte de planificación de Negocio (\$USD)	56
C.2.2. Parte 2: Horizonte de planificación de Anticipación (\$USD)	57
C.3. Resultados para Factor de descuento 8%	58
C.3.1. Parte 1: Horizonte de planificación de Negocio (\$USD)	58
C.3.2. Parte 2: Horizonte de planificación de Anticipación (\$USD)	59
D. Resultados detallados de costes e ingresos para las instancias del problema Estocástico	60
D.1. Resultados para Instancia 1	61
D.1.1. Parte 1: Resultados bajo factor de descuento 1%	61
D.1.2. Parte 2: Resultados bajo factor de descuento 4%	62
D.1.3. Parte 1: Resultado bajo factor de descuento 8%	63
D.2. Resultados para Instancia 2	64
D.2.1. Parte 1: Resultados bajo factor de descuento 1%	64
D.2.2. Parte 2: Resultados bajo factor de descuento 4%	65
D.2.3. Parte 1: Resultado bajo factor de descuento 8%	66
D.3. Resultados para Instancia 3	67
D.3.1. Parte 1: Resultados bajo factor de descuento 1%	67
D.3.2. Parte 2: Resultados bajo factor de descuento 4%	68
D.3.3. Parte 1: Resultado bajo factor de descuento 8%	69
E. Resultados detallados de cosecha para las instancias del problema Estocástico	70
E.1. Resultados para Instancia 1	71
E.1.1. Parte 1: Uso de madera bajo factor de descuento 1%	71
E.1.2. Parte 2: Uso de madera bajo factor de descuento 4%	72
E.1.3. Parte 1: Uso de madera bajo factor de descuento 8%	73
E.2. Resultados para Instancia 2	74

E.2.1. Parte 1: Uso de madera bajo factor de descuento 1 %	74
E.2.2. Parte 2: Uso de madera bajo factor de descuento 4 %	75
E.2.3. Parte 3: Uso de madera bajo factor de descuento 8 %	76
E.3. Resultados para Instancia 3	77
E.3.1. Parte 1: Uso de madera bajo factor de descuento 1 %	77
E.3.2. Parte 2: Uso de madera bajo factor de descuento 4 %	78
E.3.3. Parte 3: Uso de madera bajo factor de descuento 8 %	79
F. Resumen de volumen cosechado	80
F.1. Cosecha en Instancia 1, Factor de descuento de 1 %	80
F.2. Cosecha en Instancia 1, Factor de descuento de 4 %	80
F.3. Cosecha en Instancia 1, Factor de descuento de 8 %	81
F.4. Cosecha en Instancia 2, Factor de descuento de 1 %	81
F.5. Cosecha en Instancia 2, Factor de descuento de 4 %	81
F.6. Cosecha en Instancia 2, Factor de descuento de 8 %	82
F.7. Cosecha en Instancia 3, Factor de descuento de 1 %	82
F.8. Cosecha en Instancia 3, Factor de descuento de 4 %	82
F.9. Cosecha en Instancia 3, Factor de descuento de 8 %	83