

Evaluación de Proyectos [CI4152-1]

Optimización de Proyectos – Momento Óptimo de Reemplazo, Tamaño Óptimo de la Inversión y Momento Óptimo de Liquidación

Semestre de Primavera 2025.

Profesor de Cátedra: Diego Gutiérrez Alegría.

Repaso Clase Anterior

- Optimización de Proyectos y tipos de optimización.
- Momento Óptimo de Inicio.
- Supuesto: Beneficios en función del tiempo calendario, independientemente de cuando se construya el proyecto, para horizonte de evaluación infinito.
- ¿Cuándo invertir y cuándo postergar? Concepto de Delta VAN. Cálculo manual y con fórmulas utilizando el supuesto.
- Punto de Inflexión y Tasa de Retorno Inmediato TRI.
- ¿Para cuándo es aplicable el supuesto? Concepto de First Mover Advantage.
- Supuesto, pero con horizonte finito.
- Variaciones futuras a la tasa de descuento.

Repaso Clase Anterior

Delta VAN:

$$\Delta VAN_{i,i-1} = VAN_i - VAN_{i-1}$$

- Si: $\Delta VAN > 0 \rightarrow$ Postergo
- Si: $\Delta VAN < 0 \rightarrow$ Invertir en i-1

$$\Delta VAN_{i,i-1} = \frac{r \cdot I - F_i}{(1+r)^i}$$

- Si $F_i < r \cdot I$, Postergar
- Si $F_i > r \cdot I$, Invertir en i-1

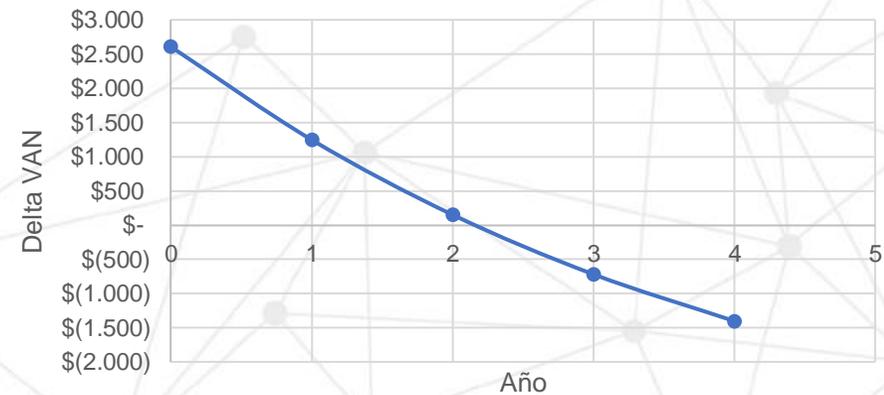
$$TRI_{i-1} = \frac{F_i}{I}$$

- Si $TRI_{i-1} < r$ Postergar
- Si $TRI_{i-1} > r$ Invertir en i-1

VAN vs Año de Inicio



Delta VAN vs Año de Inicio



Repaso Clase Anterior

Año Inversión	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	-	100,00	105,00	110,25	115,76	121,55	127,63	134,01	140,71
1	\$ 200.000	\$ 27.000	\$ 28.350	\$ 29.768	\$ 31.256	\$ 32.819	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992
2	\$ -	\$ 200.000	\$ 28.350	\$ 29.768	\$ 31.256	\$ 32.819	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992
3	\$ -	\$ -	\$ 200.000	\$ 29.768	\$ 31.256	\$ 32.819	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992
4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 200.000	\$ 31.256	\$ 32.819	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992
5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 200.000	\$ 32.819	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992
6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 200.000	\$ 34.460	\$ 36.183	\$ 37.992

Repaso Clase Anterior

Así, podemos calcular fácilmente el VAN, utilizando expresiones conocidas de la unidad de Matemáticas Financieras:

VP de Cuotas con Crecimiento:

$$VAN = \frac{C}{r - g} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + g}{1 + r} \right)^n \right)$$

Pero para proyectos que se proyectan al infinito (cumpliendo con la condición $g < r$):

$$VAN = \frac{C}{r - g}$$

Repaso Clase Anterior

Entonces el VAN 0 será:

$$VAN_0 = -200.000 + \frac{27.000}{0,15 - 0,05} = 70.000$$

De la misma forma, el VAN 1 será:

$$VAN_1 = \frac{-200.000 + \frac{28.350}{0,15 - 0,05}}{(1 + 0,15)} = 72.609$$

Opa, que el VAN creció al postergar el proyecto un año.

Repaso Clase Anterior

Hacemos eso para, por ejemplo, para las primeras 5 postergaciones, y calculamos manualmente sus Delta VAN:

		VAN	Delta VAN
Año de la Inversión (Momento de Inicio)	0	\$ 70.000	\$ 2.609
	1	\$ 72.609	\$ 1.248
	2	\$ 73.856	\$ 153
	3	\$ 74.009	\$ -718
	4	\$ 73.291	\$ -1.401
	5	\$ 71.890	

Hasta ahora no hemos usado nada nuevo. Sólo la materia de Matemáticas Financieras.

Repaso Clase Anterior

Todo lo anterior se hizo calculado los VAN y Delta VAN de manera manual, pero podemos utilizar las fórmulas obtenidas.

Recordar:

$$\Delta VAN_{i,i-1} = \frac{r \cdot I - F_i}{(1 + r)^i}$$

Entonces, podemos calcular los Delta VAN directamente. Por ejemplo, el Delta VAN entre el año 3 y 2:

$$\Delta VAN_{3,2} = \frac{r \cdot I - F_3}{(1 + r)^3} = \frac{0,15 \cdot 200.000 - 29.768}{(1 + 0,15)^3} = 153$$

Si se hace esto para cada par sucesivo de años, se tendrá el mismo vector Delta VAN que el calculado manualmente.

Repaso Clase Anterior

Ahora, fácilmente, podemos utilizar el punto de inflexión (del que se obtiene el indicador Tasa de Retorno Inmediato, para conocer de manera aún más rápida el Momento Óptimo de Inicio).

Calculamos la TRI para cada postergación:

Año de la Inversión (Momento de Inicio)	TRI
0	13,50%
1	14,18%
2	14,88%
3	15,63%
4	16,41%
5	17,23%

Ejemplo de cálculo:

$$TRI_3 = \frac{F_4}{I} = \frac{31.256}{200.000}$$

$$TRI_3 = 0,1563$$

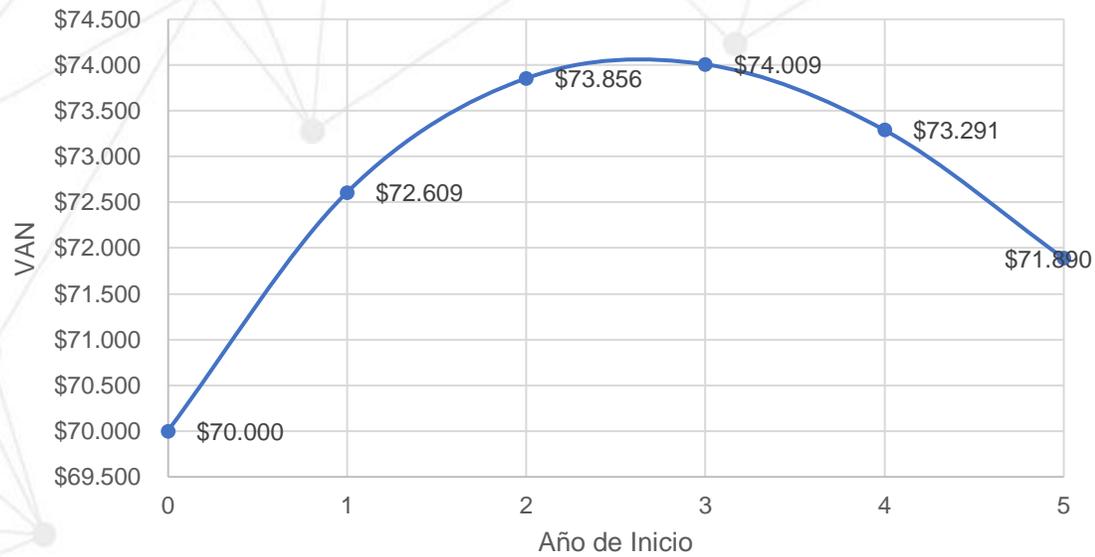
Entonces, la TRI supera la tasa de costo de oportunidad cuando se invierte en el año 3 y opera en el año 4. Encontramos inmediatamente nuestro momento óptimo de inicio.

Repaso Clase Anterior

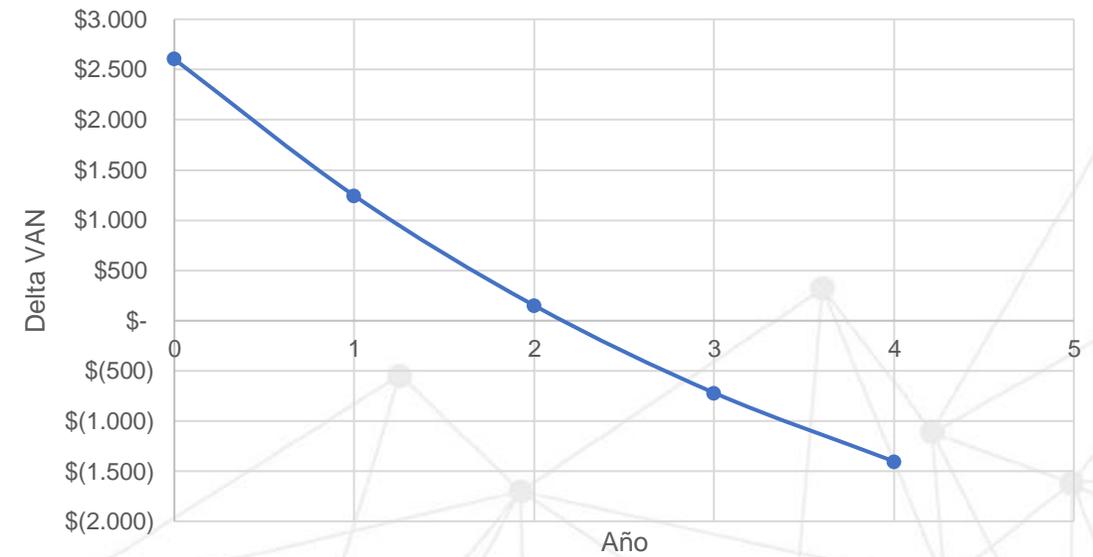
Año de la Inversión (Momento de Inicio)	VAN		Delta VAN	TRI
	0	\$	70.000	\$ 2.609
1	\$	72.609	\$ 1.248	14,18%
2	\$	73.856	\$ 153	14,88%
3	\$	74.009	\$ -718	15,63%
4	\$	73.291	\$ -1.401	16,41%
5	\$	71.890		17,23%

Repaso Clase Anterior

VAN vs Año de Inicio



Delta VAN vs Año de Inicio



Ejercicio

Problema 1: Supongamos que la construcción de una carretera requiere una inversión de \$200, que existe una tasa de descuento del 10 %, que los beneficios dependen únicamente del tiempo, que la inversión dura permanentemente. Supongamos también que los beneficios anuales crecen a razón de \$1 por año indefinidamente, es decir, $F_1 = 1, F_2 = 2, \dots, F_k = k$.

¿Conviene invertir hoy o conviene aplazarlo para mañana?
¿Cuál es el Momento Óptimo de Inversión?

Ejercicio

Problema 2: Su compañía se presentará a una licitación para adjudicarse una concesión para construir y operar un tren rápido a la Quinta Región. El reglamento de concesión exige cobrar un precio por pasaje de no más de US\$ 8,5 y que el tren se mantenga operando durante mucho tiempo (infinito). No obstante, debido a la crisis se le permite a la empresa iniciar la operación del tren en cualquiera de los próximos 5 años, al cabo de los cuales si no es construido la concesión se pierde. Además, dado que el proyecto tiene importantes implicancias sociales, se encuentra exento de impuestos para todo el horizonte de planeación. El tren rápido posee costos de operación fijos por US\$ 100.000 anuales (los que permitirían su operación hasta infinito), mientras que los costos variables alcanzarían los US\$ 5 por pasajero. La demanda durante el primer año se ha estimado en 50.000 pasajeros. Debido al crecimiento poblacional y económico de la región, esta demanda crecerá en un 5% cada año, pudiendo el tren absolverla sin nuevas inversiones en el futuro. Si la inversión inicial requerida alcanza a US\$ 1.000.000 y la tasa de costo de oportunidad a un 10% anual, entonces:

¿Cuál es el máximo VAN privado del proyecto? Asuma que la inversión es constante y que los flujos son independientes del momento en que se construye el proyecto.

Periodo Óptimo de Reemplazo

A veces, se requiere definir el horizonte óptimo de un proyecto que se repite infinitamente en el tiempo. Lo anterior aplica, por ejemplo, cuando se trata de saber cuál es el período o momento óptimo de reemplazo de, por ejemplo, maquinarias con tal de minimizar los costos. En ese caso, podemos utilizar el concepto de CAUE (costo anual uniforme equivalente).

Ejemplo: Cuándo reemplazar una maquinaria si el VR disminuye y su costo de mantención aumenta, cada año que demora la renovación.

Año	Mantenimiento	VR
1	-2,00	25
2	-2,50	21
3	-3,50	18
4	-5,00	16
5	-7,00	14
6	-9,50	12
7	-12,50	10
8	-16,00	8

Precio Maquinaria	30
Tasa dcto.	10%

Periodo Óptimo de Reemplazo

Como estamos evaluando diferentes periodos de reemplazo, esto implica diferentes horizontes de proyecto, por lo que no podemos comparar costos sólo considerando el VAN (no tiene sentido ser indiferente entre dos maquinarias con mismo VAN negativo de costos, si una maquinaria dura el doble que la otra). Por eso, usamos CAUE.

Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
1	-30,00	23,00							
2	-30,00	-2,00	18,50						
3	-30,00	-2,00	-2,50	14,50					
4	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	11,00				
5	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	7,00			
6	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	2,50		
7	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	-9,50	-2,50	
8	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	-9,50	-12,50	-8,00

Periodo Óptimo de Reemplazo

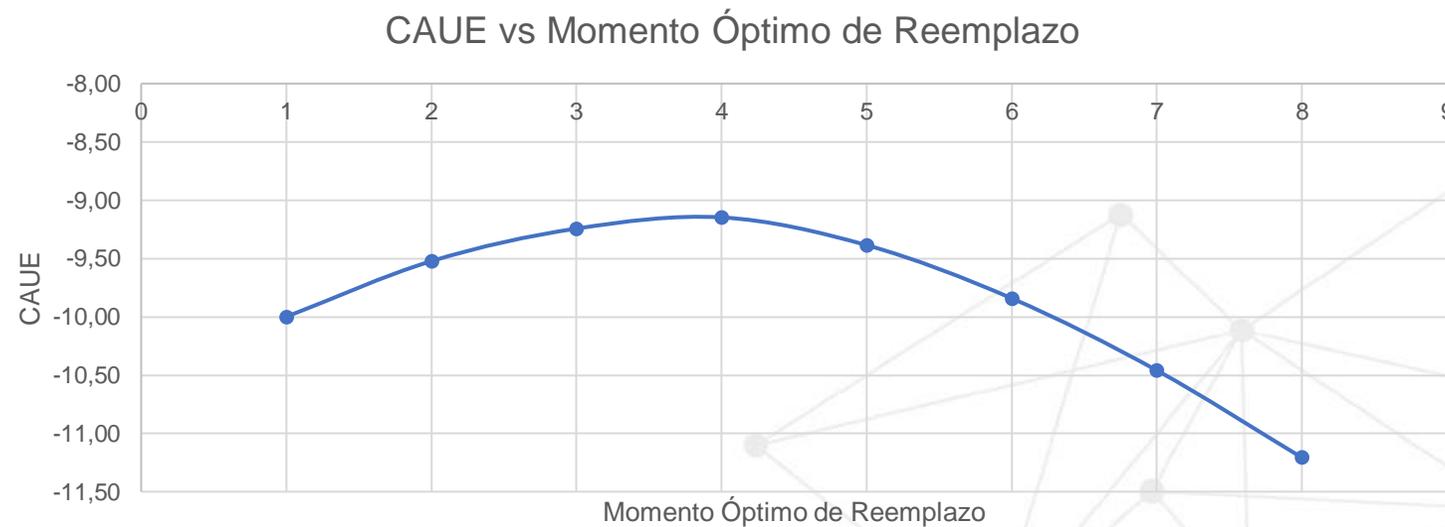
$$CAUE = VAN_1 \cdot \frac{r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1}$$

Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
1	-30,00	23,00							
2	-30,00	-2,00	18,50						
3	-30,00	-2,00	-2,50	14,50					
4	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	11,00				
5	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	7,00			
6	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	2,50		
7	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	-9,50	-2,50	
8	-30,00	-2,00	-2,50	-3,50	-5,00	-7,00	-9,50	-12,50	-8,00

VAN	CAUE
-9,09	-10,00
-16,53	-9,52
-22,99	-9,24
-29,00	-9,15
-35,58	-9,39
-42,86	-9,84
-50,92	-10,46
-59,78	-11,21

Periodo Óptimo de Reemplazo

De esta forma, podemos saber que nuestro periodo óptimo de reemplazo para la maquinaria del ejemplo es de 4 años. Si se reemplaza cada 4 años, el CAUE es menos negativo y se tendrán menores costos al largo plazo.



Tamaño Óptimo de la Inversión

Se debe aumentar la inversión siempre y cuando los nuevos ingresos sigan siendo superiores a la inversión necesaria para poder obtenerlos (y siempre y cuando se cumplan las restricciones presupuestarias tanto de capital propio como del financiado).

$$\Delta VAN = -\Delta I + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i}{(1+r)^i}$$

Y el tamaño óptimo se obtendrá al llegar al punto crítico (Delta VAN = 0):

$$\Delta I = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i}{(1+r)^i}$$

Tamaño Óptimo de la Inversión

Ejemplo:

Un negocio de mermeladas vende el producto a \$350 el kilo, con un costo de producción de \$200 el mismo kilo. Su capacidad de producción actual es de 1.000 kilos por año y su principal cliente le ofrece comprar toda la mermelada que pueda producir, hasta un máximo de 5.000 kilos por año. Para llegar a esos niveles de producción, se debe invertir en infraestructura por un monto total de 5 millones.

Determine si conviene o no el proyecto, si es que se vendieran 5.000 kilos por año perpetuamente, con una tasa de costo de oportunidad de un 10%.

Delta inversión = \$5.000.000

Delta beneficio = 4.000 kilos por año a $(\$350 - \$200)$ el kilo = \$600,000

Tamaño Óptimo de la Inversión

Ejemplo:

Beneficio Incremental Anual = $(5.000 - 1.000)(\$ 350 - \$ 200) = \$ 600.000$.

$$\Delta VAN = -\Delta I + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i}{(1+r)^i}$$

$$\Delta VAN = -\Delta I + \frac{C}{r} = \$ - 5.000.000 + \frac{\$600.000}{0,1} = \$1.000.000 > 0$$

Por lo anterior, conviene aumentar la escala de producción.

Ejercicio

Problema 3: Juanito fabrica y vende empanadas vegetarianas obteniendo un flujo de caja neto de \$1.000 por cada una. Su producción actual anual de empanadas asciende a las 60.000 por año. Juanito está estudiando la posibilidad de ampliar la fábrica de empanadas, para lo cual necesita invertir \$500.000.000 en hornos. Esta inversión le permitirá a Juanito obtener un flujo de caja neto anual adicional (con respecto a la situación sin proyecto) de \$75.000.000. Si invierte \$600.000.000 en hornos podrá obtener un flujo de caja neto anual adicional, con respecto a la situación sin proyecto, de \$87.000.000. El proveedor de hornos le comunica a Juanito que si a la inversión de \$600.000.000 en hornos le agrega una pieza adicional por \$100.000.000, podrá obtener un flujo de caja neto anual adicional, con respecto a la situación sin proyecto, de \$93.000.000.

Suponga que el horno no se deprecia. La tasa de descuento relevante es el 10% anual. ¿Cuál es el tamaño óptimo de producción de empanadas?

Momento Óptimo de Liquidación

Para inversiones que tienen una determinada tasa de crecimiento del stock del capital invertido, por ejemplo, plantaciones de árboles, se necesita determinar cuál es el momento óptimo para liquidar la inversión (cuándo cortar los árboles, etc.). En general, cada vez nuestro stock de capital va aumentando en el tiempo debido a cierta tasa de crecimiento, por lo que a medida que nos alejamos del inicio del proyecto, existirá un mayor ingreso.

Ahora, es importante entender que lo que nos importa es llevar todo a Valor Presente, y flujos lejanos se ven muy afectados al ejecutar dicho cálculo. Luego, por eso es tan importante encontrar ese equilibrio que se encuentra al determinar dicho Momento de Liquidación. En la siguiente situación, ya no debemos esperar y se requiere liquidar:

Momento Óptimo de Liquidación

Por ejemplo: Un inversionista posee una plantación forestal que hoy está valorada en 100 millones. Al momento de vender la plantación, el capital obtenido será reinvertido en un instrumento financiero a una tasa del 5% anual nominal. El valor de la plantación forestal aumenta en paralelo a la tasa de crecimiento de esta, que varía año a año según la siguiente tabla:

Año	Stock	Crecimiento
0	100,00	0,00%
1	105,00	5,00%
2	112,35	7,00%
3	123,59	10,00%
4	139,65	13,00%
5	153,90	10,20%
6	167,75	9,00%
7	181,17	8,00%
8	192,04	6,00%
9	201,64	5,00%
10	210,71	4,50%
11	218,93	3,90%
12	225,28	2,90%

Momento Óptimo de Liquidación

El VAN deja de aumentar en el año 9, y a partir de dicho año comienza a decrecer.

¿Por qué pasa eso?

Año	Stock	Crecimiento	VAN(5%)	BAUE
0	100,00	0,00%	0,00	0,00
1	105,00	5,00%	0,00	0,00
2	112,35	7,00%	1,90	1,02
3	123,59	10,00%	6,76	2,48
4	139,65	13,00%	14,89	4,20
5	153,90	10,20%	20,58	4,75
6	167,75	9,00%	25,17	4,96
7	181,17	8,00%	28,75	4,97
8	192,04	6,00%	29,98	4,64
9	201,64	5,00%	29,98	4,22
10	210,71	4,50%	29,36	3,80
11	218,93	3,90%	28,00	3,37
12	225,28	2,90%	25,44	2,87

Momento Óptimo de Liquidación

Y si queremos reinvertir en un mismo proyecto forestal de manera repetitiva e indefinida ¿En qué año debemos liquidar? Considerar Costo de Inversión de -100 (stock está representado como su valor monetario).

Año	Stock	Crecimiento	VAN(5%)	BAUE
0	100,00	0,00%	0,00	0,00
1	105,00	5,00%	0,00	0,00
2	112,35	7,00%	1,90	1,02
3	123,59	10,00%	6,76	2,48
4	139,65	13,00%	14,89	4,20
5	153,90	10,20%	20,58	4,75
6	167,75	9,00%	25,17	4,96
7	181,17	8,00%	28,75	4,97
8	192,04	6,00%	29,98	4,64
9	201,64	5,00%	29,98	4,22
10	210,71	4,50%	29,36	3,80
11	218,93	3,90%	28,00	3,37
12	225,28	2,90%	25,44	2,87

Momento Óptimo de Liquidación

Entonces, dependiendo de lo que queremos, un mismo proyecto puede tener diferentes momentos de liquidación. Si sólo queremos liquidar una vez y dejar de participar en el mercado, liquidamos en el Año 8 o 9 (usamos VAN), mientras que si queremos reinvertir en la plantación foresta de manera repetitiva, cíclica e indefinida, nos conviene liquidar en el Año 7 (usamos BAUE / CAUE).

Año	Stock	Crecimiento	VAN(5%)	BAUE
0	100,00	0,00%	0,00	0,00
1	105,00	5,00%	0,00	0,00
2	112,35	7,00%	1,90	1,02
3	123,59	10,00%	6,76	2,48
4	139,65	13,00%	14,89	4,20
5	153,90	10,20%	20,58	4,75
6	167,75	9,00%	25,17	4,96
7	181,17	8,00%	28,75	4,97
8	192,04	6,00%	29,98	4,64
9	201,64	5,00%	29,98	4,22
10	210,71	4,50%	29,36	3,80
11	218,93	3,90%	28,00	3,37
12	225,28	2,90%	25,44	2,87

Próxima Clase

- Momento Óptimo de Repetición
- Decisiones de Localización
- Selección en una Cartera de Proyectos
- Proyectos Independientes, Complementarios y Sustitutos
- Selección en una Cartera de Proyectos con Restricción de Capitales
- IVAN – Índice de Exceso de Valor Actual Neto.



dic INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD DE CHILE



SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

