PROYECTOS MUTUAMENTE EXCLUYENTES CON VIDAS DESIGUALES
Extensiones al análisis tradicional

Anahí E. Briozzo
Gastón S. Milanesi
Universidad Nacional del Sur

Para comentarios: abriozzo@uns.edu.ar
milanesi@uns.edu.ar

Resumen. La evaluación de proyectos mutuamente excluyentes con vidas desiguales se limita, en los manuales clásicos de administración financiera, al empleo de dos criterios: la cadena de reemplazo y la anualidad equivalente. El objetivo de este trabajo consiste en estudiar las limitaciones de estos métodos ‘tradicionales’, y revisar los criterios alternativos que han sido desarrollados en la literatura. Por último, se describen las ventajas del análisis de árbol de decisiones y opciones reales en este contexto.

1. INTRODUCCIÓN

Emery (1982) describe cuatro casos distintos a considerar cuando se está evaluando proyectos mutuamente excluyentes de vidas desiguales. Esta clasificación surge en función de comparar la duración esperada de la actividad que requiere la inversión (lo que él llama el proyecto) y la vida económica de las alternativas disponibles para llevar a cabo esa actividad. Por ejemplo, la actividad sería realizar la producción de un bien, y las alternativas serían adquirir la máquina A o la máquina B.

Gastón S. Milanesi participa en este trabajo en carácter de miembro del Grupo de Investigación integrado por: Fabio Rotstein (director), Juan I. Esandi, Gastón S. Milanesi y René D. Perotti, formando parte del Proyecto de Investigación con acreditación externa: “*Concebir y desarrollar un manual integral de evaluación económico-financiera de proyectos de inversión en activos reales, desde la óptica de inversores privados, que responda a enfoques modernos, informatizados y de especial aplicación a pequeñas y medianas empresas de Argentina*”. El presente trabajo fue totalmente financiado por la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

Caso 1. La vida económica de las alternativas determina la vida del proyecto, por ejemplo la extracción de recursos naturales. En este caso no es posible repetir el proyecto, por lo que Emery propone que el VAN ‘simple’ (sin repetición) sería suficiente para la evaluación.

Caso 2. La duración del proyecto es inferior a la vida de las alternativas, por ejemplo la vida útil de las maquinarias empleadas en la producción excede al periodo de tiempo en que se las empleará para tal fin. Entonces se debe considerar como periodo de evaluación la duración del proyecto, y tomar el valor de recupero de las alternativas al final del periodo del proyecto.

Duración proyecto:
Duración Alternativa A:
Duración Alternativa B:

Caso 3. La duración del proyecto es superior a la duración de las alternativas, por ejemplo se requiere reemplazar maquinarias durante la vida del proyecto. Según Emery, el periodo de evaluación debería ser el menor entre la vida del proyecto, y el mínimo común múltiplo de las vidas de las alternativas.

Duración proyecto:
Duración Alternativa A:
Duración Alternativa B:

Caso 4. Sería la situación en que, si hay dos alternativas A y B, donde la duración de A es mayor a la de B (DA > DB) , la duración del proyecto (DP) es tal que: DA > DP > DB. Una alternativa debe ser reemplazada antes de que el proyecto termine, pero la otra tiene una duración superior. Según Emery, el período de evaluación debería ser la vida del proyecto.

Duración proyecto:
Duración Alternativa A:
Duración Alternativa B:

Como se puede apreciar a partir de esta clasificación, el ejemplo que tradicionalmente es considerado en los manuales de administración financiera se corresponde con el Caso 3 de Emery. En general, se considera la decisión de reemplazo de un activo en una empresa, donde se espera que la duración de la actividad (empresa) sea mayor a la duración de las alternativas (activo a reemplazar). El aporte fundamental del enfoque de Emery consiste en re-contextualizar la decisión: no se puede abstraer la evaluación de la alternativa del proyecto que le da significado.

2. ENFOQUE CLÁSICO: REPETICIÓN AUTOMÁTICA Y MISMO COSTO DE CAPITAL

El enfoque clásico se basa en el caso 3 de Emery: se conocen las dos alternativas, y se asume que la duración del proyecto es superior a la de estas alternativas[1].

Para ejemplificarlo, supóngase que se está evaluando dos alternativas mutuamente excluyentes con vidas desiguales, A y B, ambas con el mismo costo de capital: 11,5% :

[1] Por eso tiene sentido la repetición.

Tabla 1: Flujos de fondos incrementales de los proyectos A y B[2].

Año	0	1	2	3	4	5	6
A	-4.000	800	1.400	1.300	1.200	1.100	1.000
B	-2.000	700	1.300	1.200			

El enfoque tradicional de los manuales de administración financiera[3] propone dos formas de evaluar esta situación: la cadena de reemplazo y la anualidad equivalente.

La cadena de reemplazo (CR). Este método surge de considerar el caso de una decisión de reemplazo, donde por ejemplo se evalúa si continuar con activo usado vs. comprar uno nuevo, o adquirir dos activos con el mismo destino pero con distintas vidas útiles y flujos asociados. Si bien se puede considerar directamente el VAN de cada alternativa:

$$VAN_A = -4000 + \frac{800}{1{,}115^1} + \frac{1400}{1{,}115^2} + \ldots + \frac{1000}{1{,}115^6} = \$\ 716{,}5$$

$$VAN_B = -2000 + \frac{700}{1{,}115^1} + \frac{1300}{1{,}115^2} + \frac{1200}{1{,}115^3} = \$539{,}1$$

Ésta sería una evaluación incompleta, porque considera sólo la decisión inicial de reemplazo, y no toma en cuenta las decisiones de reemplazos posteriores.

El enfoque tradicional de la cadena de reemplazo plantea que la decisión de reemplazo se repite al final de cada ciclo en condiciones idénticas a las iniciales. Si la alternativa es aceptable la primera vez que se toma la decisión, también lo será todas las veces posteriores.

El objetivo es llevar la evaluación a un horizonte común, el mínimo común múltiplo de las duraciones de las alternativas considerados. Para el ejemplo consistiría, en el caso de la alternativa B (que tiene menor duración), en repetir la inversión a fines del año 3. Entonces, el flujo de fondos total (la cadena de reemplazo) sería:

Tabla 2: Cadena de reemplazo de la alternativa B

Año	0	1	2	3	4	5	6
B (1º)	-2.000	700	1.300	1.200			
B(2º)				-2.000	700	1.300	1.200
Total	-2.000	700	1.300	-800	700	1.300	1.200

La decisión se toma comparando el valor actual de este flujo de fondos con el de la alternativa A:

$$VAN_A = -4000 + \frac{800}{1{,}115^1} + \frac{1400}{1{,}115^2} + \ldots + \frac{1000}{1{,}115^6} = \$\ 716{,}5$$

$$VAN_B = -2000 + \frac{700}{1{,}115^1} + \frac{1300}{1{,}115^2} - \frac{800}{1{,}115^3} + \frac{700}{1{,}115^1} + \frac{1300}{1{,}115^2} + \frac{1200}{1{,}115^3} = \$928{,}1$$

En este contexto, la alternativa B es preferible al A, conclusión que no podía apreciarse al considerar el VAN de una única inversión.

[2] Adaptado de Ehrhardt and Brigham (2003), *Corporate Finance: A Focused Approach*, pag 279.

[3] Por ejemplo Ross, Westerfield y Jaffe, o Ehrhardt and Brigham.

La anualidad equivalente (AE). Este método busca transformar los flujos de fondos de la alternativa en la anualidad equivalente (AE) que, para la duración de la alternativa y su costo del capital, tenga el mismo VAN. Para A:

$$VAN_A = \sum_{t=1}^{6} \frac{AE}{1{,}115^t} = AE \times \left[\frac{1}{0{,}115} - \frac{1}{0{,}115 \times (1{,}115)^6} \right] = \$716{,}1 \rightarrow AE_A = \$\ 171{,}81$$

donde el segundo factor representa el valor actual de una anualidad vencida a 6 años, para una tasa anual de 11,5%.

Mientras que para B:

$$VAN_B = \sum_{t=1}^{3} \frac{AE}{1{,}115^t} = AE \times \left[\frac{1}{0{,}115} - \frac{1}{0{,}115 \times (1{,}115)^3} \right] = \$716{,}1 \rightarrow AE_B = \$222{,}55$$

Repetir la inversión de la alternativa A origina flujos de fondos anuales por $171,81, mientras que para B son de $222,55. Entonces, se prefiere la alternativa B.

Volviendo a considerar el horizonte común de seis años, se puede observar que el VAN de ambas alternativas es el mismo que el obtenido mediante la cadena de reemplazo: la anualidad equivalente lleva implícita la secuencia de reemplazo que es explícita en el método anterior.

Tabla 3: Anualidad equivalente en el mínimo horizonte en común (mismo k)

Año	1	2	3	4	5	6
A	171,81	171,81	171,81	171,81	171,81	171,81
B	222,55	222,55	222,55	222,55	222,55	222,55

$$VAN_A = \sum_{t=1}^{6} \frac{171{,}81}{1{,}115^t} = \$\ 716{,}5$$

$$VAN_B = \sum_{t=1}^{3} \frac{222{,}55}{1{,}115^t} = \$928{,}1$$

Los supuestos detrás. Ross, Westerfield y Jaffe indican que estos métodos (AE y CR) sólo son aplicables cuando se anticipa la posibilidad de reemplazo. En el caso que no exista posibilidad de reemplazo, el análisis 'simple' del VAN sería el apropiado[4].

Por su parte, Ehrhardt y Brigham advierten ciertas debilidades de estos métodos:

- Si se espera inflación, el supuesto de que las condiciones iniciales permanecen estáticas deja de ser válido.
- Los potenciales avances tecnológicos harán que las inversiones posteriores sean distintas a las actuales.
- Es difícil estimar la duración de los proyectos, más aún estimar la duración de una serie de proyectos.

Además de los supuestos de reemplazo y repetición de las condiciones iniciales, otro supuesto adicional es que ambas alternativas tienen el mismo costo de capital, lo que implica suponer que tienen el mismo riesgo.

[4] Esta recomendación coincide con la de Emery (1982).

3. REPETICIÓN AUTOMÁTICA Y DIFERENTE COSTO DE CAPITAL

Beedles y Joy (1997) muestran que cuando el costo de capital difiere entre ambas alternativas, no se puede comparar directamente la anualidad equivalente. Si para el ejemplo anterior se considera que k_A = 11,5% y k_B = 14%, se obtiene:

Cadena de reemplazo
VAN_A = \$716,5 VAN_B = \$710,7 → elegir A

Anualidad equivalente
AE_A = \$171,81 AE_B = \$ 182, 76 → elegir B

El conflicto en las conclusiones de cada método se deriva de una limitación de la anualidad equivalente. Sólo es válido comparar entre sí anualidades equivalentes con la misma tasa requerida, ya que en este caso siempre se cumple que si $AE_A > AE_B$, al calcular el valor actual de estas AE para el horizonte común resulta $VAN_A > VAN_B$.

Volviendo al caso con mismo costo de capital, el VAN de la alternativa para el horizonte en común T puede expresarse como:

$$\left[\frac{1}{k}-\frac{1}{k(1+k)^T}\right]AE_A(k,FF_A,n_A)=\mathrm{VAN_A}$$

donde k es el costo de capital, FF son los flujos de fondos de la alternativa y n es la vida original de la alternativa.

Entonces ocurre que si $AE_A(k,FF_A,n_A)>AE_B(k,FF_B,n_B)$ necesariamente se cumple que:

$$\left[\frac{1}{k}-\frac{1}{k(1+k)^T}\right]AE_A(k,FF_A,n_A)>\left[\frac{1}{k}-\frac{1}{k(1+k)^T}\right]AE_B(k,FF_B,n_B)$$

ya que el valor actual de la anualidad a la tasa k y para el periodo en común T es una constante que multiplica a ambos miembros. Esto último no es siempre cierto si el costo del capital difiere entre los proyectos. Dicha limitación de la anualidad equivalente se evita tomando el valor actual de la AE en el horizonte en común:

Tabla 4: Anualidad equivalente en el mínimo horizonte en común (diferente k)

Año	1	2	3	4	5	6
A	171,81	171,81	171,81	171,81	171,81	171,81
B	182,76	182,76	182,76	182,76	182,76	182,76

$$VAN_A=\sum_{t=1}^{6}\frac{171{,}81}{1{,}115^t}=\$716{,}5 \rightarrow \text{Elegir A.}$$

$$VAN_B=\sum_{t=1}^{3}\frac{182{,}76}{1{,}14^t}=\$710{,}7$$

Otra alternativa empleada[5] es calcular el valor actual de la anualidad equivalente, considerándola una perpetuidad:

$$VA_A=\frac{171{,}81}{11{,}5\%}=\$1.494 \quad \rightarrow \text{Elegir A.}$$

[5] Por ejemplo en Emery and Finnerty (2000).

$$VA_B = \frac{182{,}76}{14\%} = \$1.305{,}45$$

Musumeci (1999) y Pilotte (2000) demuestran que la elección en este contexto depende del período tomado como horizonte en común: para cierto período, los dos métodos seleccionarán una alternativa, pero para otro período, a veces indicarán la otra como mejor.

Para ilustrar este caso, considérese que para el ejemplo inicial el costo del capital es que k_A = 11,7% y k_B = 14%, y se evalúan dos horizontes en común: 6 años y 18 años.

Tabla 5: Elección en función del horizonte

Horizonte	6 años		18 años	
Proyecto	A	B	A	B
VAN cadena reemplazo	$689,36	$710,7	$1.227	$1.182
Anualidad equivalente	$166,24	$182,76	$166,24	$182,76
VAN AE para el horizonte	$689,36	$710,7	$1.227	$1.182
Elegir	Proyecto B		Proyecto A	

Para la perpetuidad:

$$VA_A = \frac{166{,}24}{11{,}7\%} = \$1.420{,}93 \quad \rightarrow \text{ Elegir A.}$$

$$VA_B = \frac{182{,}76}{14\%} = \$1.305{,}45$$

Este conflicto también puede apreciarse graficando el VAN de cada alternativa para distintos horizontes en común (tabla 6 y gráfico 1).

Tabla 6: VAN en función del horizonte T

Horizonte (años)	VAN A	VAN B
6	$ 689,36	$ 710,70
12	$ 1.044,28	$ 1.034,49
18	$ 1.227,01	$ 1.182,01
24	$ 1.321,09	$ 1.249,21
30	$ 1.369,53	$ 1.279,83
36	$ 1.394,46	$ 1.293,78
42	$ 1.407,30	$ 1.300,13

¿En qué casos se presenta este conflicto?[6]

El conflicto puede surgir cuando la alternativa de mayor AE tiene mayor costo de capital: $AE_A(k_A, FF_A, n_A) > AE_B(k_B, FF_B, n_B)$ y $k_A > k_B$, ya que entonces:

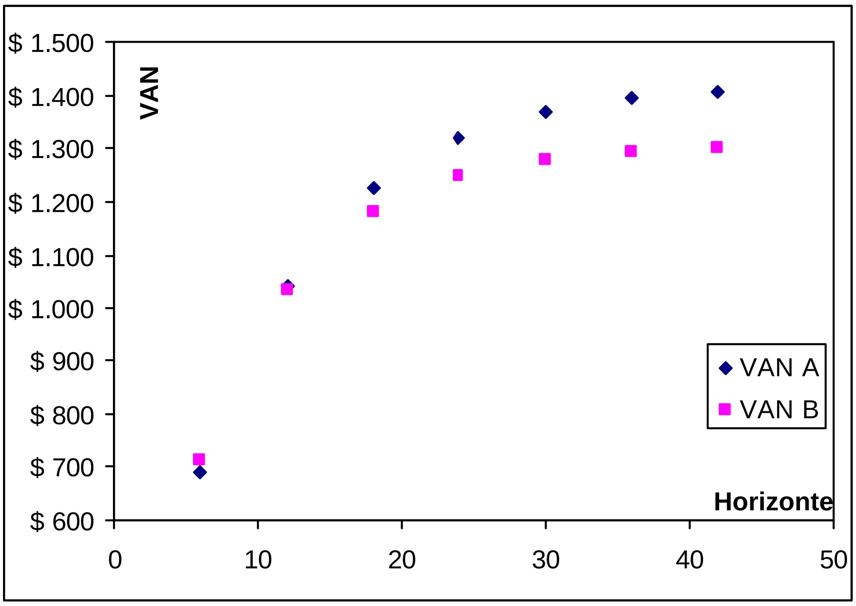
$$VAA_A = \left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^T}\right] < \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^T}\right] = VAA_B$$

Para que se cumpla que:

$$VAA_A(k_A, T) \times AE_A(k_A, FF_A, t_A) > VAA_B(k_B, T) \times AE_B(k_B, FF_B, t_B)$$

[6] Para una respuesta más detallada a esta pregunta, consultar el Apéndice.

Gráfico 1
Perfil del VAN para distintos horizontes en común (T), con k_A = 11,7% y k_B = 14%



debe cumplirse que:

$$\frac{AE_A(k_A, FF_A, t_A)}{AE_B(k_B, FF_B, t_B)} > \frac{VAA_B(k_B, T)}{VAA_A(k_A, T)}$$

El problema surge porque el valor del segundo miembro varía con T, mientras que el valor del primero permanece constante en T. Para algún valor de T, puede ocurrir que esta relación se invierta. Entonces, si para algún horizonte común existe un T^* tal que:

$$\frac{AE_A(k_A, FF_A, t_A)}{AE_B(k_B, FF_B, t_B)} = \frac{VAA_B(k_B, T^*)}{VAA_A(k_A, T^*)}$$

También se cumple que:

$$\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^{T^*}}\right] AE_A(k_A, FF_A, n_A) = \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^{T^*}}\right] AE_B(k_B, FF_B, n_B)$$

Cuando existe este T*, si T < T*:

$$\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^{T}}\right] AE_A(k_A, FF_A, t_A) > \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^{T}}\right] AE_B(k_B, FF_B, t_B)$$

Es decir, la alternativa de mayor AE es preferible, y si T > T*:

$$\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^{T}}\right] AE_A(k_A, FF_A, t_A) < \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^{T}}\right] AE_B(k_B, FF_B, t_B)$$

Entonces la alternativa de menor AE es preferible.

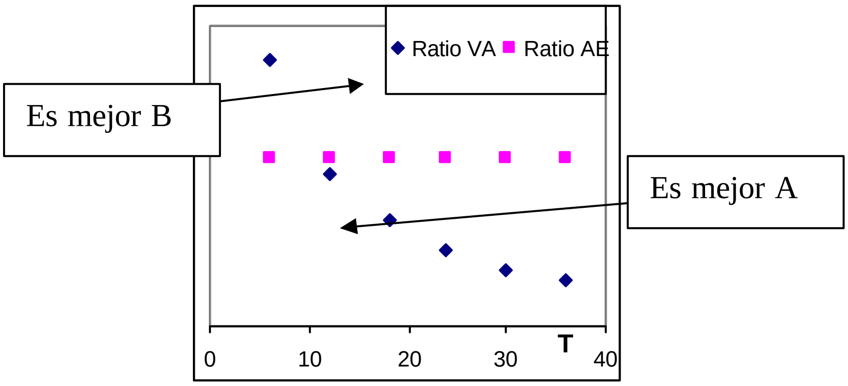
Volviendo al ejemplo de la Tabla 1, con costo del capital k_A = 11,7% y k_B = 14%, se tenía que AE_A = $166,24 < AE_B = $182,76. Para este caso T^* es 10,39 años[7]. Como puede apreciarse en el Gráfico 1 y en la Tabla 6, para T = 6 años (inferior a T^*), el VAN de la alternativa B (el de

[7] Obtenido en MSExcel mediante la función Buscar Objetivo.

mayor AE) es mayor, mientras que para los restantes T superiores a 10 años, es mayor el VAN del proyecto A (el de menor AE).

Esta situación puede apreciarse también gráficamente mediante la comparación del ratio AE_A / AE_B y el ratio $VAA_B(k_B,T) / VAA_A(k_A,T)$, como muestra el gráfico 2, este último decrece en T[8].

Gráfico 2
Comportamiento del ratio VAAB / VAAA para kA = 11,7% y kB = 14%,



Cuando la alternativa de mayor AE tiene mayor costo de capital, el otro caso posible es que siempre domine alguna de las dos alternativas para todo T[9]. Para el mismo ejemplo anterior, esto se observa en los gráficos 3 y 4.

Gráfico 3
Domina B (kA = 11% y kB = 12%)

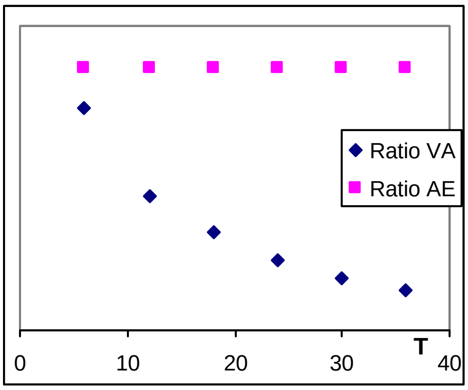
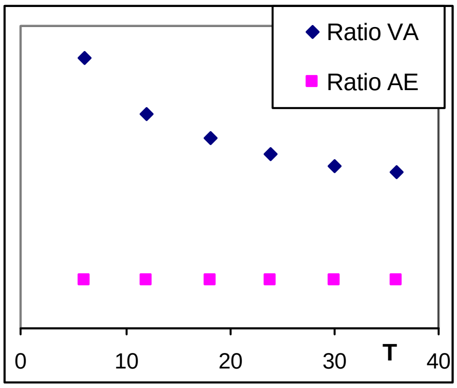


Gráfico 4
Domina A (kA = 10% y kB = 12%)



El comportamiento descripto es originado por la naturaleza del cálculo valor actual, que no se comporta linealmente en el tiempo.

En el caso de la anualidad equivalente como perpetuidad, las conclusiones son las mismas que para la AE.

Si se cumple que $AE_A(k_A, FF_A, n_A) = AE_B(k_B, FF_B, n_B)$ ó $AE_A(k_A, FF_A, n_A) > AE_B(k_B, FF_B, n_B)$, y $k_A < k_B$, entonces siempre ocurrirá que la alternativa con mayor AE tiene mayor valor actual de la perpetuidad, y no existirá conflicto entre la recomendación de la perpetuidad y el VAN de la cadena de reemplazo para distintos T.

Cuando $AE_A(k_A, FF_A, n_A) > AE_B(k_B, FF_B, n_B)$, y $k_A > k_B$, la recomendación de la perpetuidad coincidirá con la del VAN para T→ 8, que es de esperar se corresponda con $T > T^*$. Para el

8 Ya que en este ejemplo $VAA_A > VAA_B$.

9 Como T es el horizonte en común, el primer valor de la función VAA_B / VAA_A es el mínimo común múltiplo de las duraciones de las alternativas.

ejemplo, con k_A = 11,7% y k_B = 14%, la alternativa A (menor AE y k) tiene mayor valor actual de la perpetuidad, conclusión que coincide con la del VAN para T> 10 años (T^*).

Si la elección depende entonces del horizonte en común T considerado, ¿cómo definir ese horizonte? Teniendo en cuenta la clasificación de Emery, los casos 3 y 4 resultan de interés para el estudio del problema planteado. En particular, en el caso 3 cuando difiere el costo de capital entre ambas alternativas, el horizonte común a considerar debería ser lo más cercano posible a la vida de la actividad que requiere la inversión (Musumeci (1999) y Pilotte (2000)). Por lo tanto, es fundamental la planificación para determinar el horizonte del proyecto en el cual actúan las alternativas a considerar.

4. HERRAMIENTAS ALTERNATIVAS PARA LA EVALUACIÓN

4.1 Tasa de rendimiento de los activos invertidos (RRIA[10]) y TIRM*

Volkman (1997) propone la tasa de rendimiento de los activos invertidos como criterio de evaluación:

$$RRIA = \frac{\left[\sum_{t=0}^{n} \frac{FF(-)_t}{(1+k)^t} + \sum_{t=0}^{n} \frac{FF(+)_t}{(1+k)^t}\right] \div \left[\frac{1}{k} - \frac{1}{k(1+k)^n}\right]^Z}{-\sum_{t=0}^{n} \frac{FF(-)_t}{(1+k)^t}} + k$$

donde FF(-) son los flujos de fondos negativos de la inversión, FF(+) son los flujos de fondos positivos de la inversión, k es el costo de capital de la inversión y n es la duración de la alternativa de inversión (un ciclo). El exponente Z toma valor 1 si el proyecto se puede replicar, y valor 0 en caso contrario. Este método asume que cuando existe posibilidad de replicar la inversión, se hace en forma idéntica a la inicial.

La tasa RRIA expresa la tasa anualizada de rendimiento de la inversión durante la vida de la misma. El segundo corchete en el numerador actúa como ajuste cuando se evalúan alternativas de diferente duración. El criterio de decisión es igual a la TIR: el proyecto es aceptable si la tasa RRIA es superior al costo de capital.

En definitiva, cuando Z = 1 (hay repetición idéntica), la propuesta de Volkman (1997) consiste en calcular el índice de rentabilidad para la anualidad equivalente del proyecto, y sumarle el costo de capital:

$$RRIA = \frac{AE(k, n, FF_t)}{VA(FF(-)_t, k)} + k$$

Cuando Z = 0 (no hay repetición), es simplemente el índice de rentabilidad más el costo de capital:

$$RRIA = \frac{VAN(k, FF_t)}{VA(FF(-)_t, k)} + k$$

Volkman (1997) indica que esta medida de rentabilidad es superior, en la elección de alternativas mutuamente excluyentes con vidas desiguales, a la TIRM* de McDaniel y otros (1988), la cual consiste en ajustar el periodo terminal para que coincida con la alternativa de mayor duración[11].

[10] Rate of Return on Invested Assets.

[11] En esta forma de calcular la TIRM* los flujos de fondos negativos son actualizados. Al igual que para la TIRM, existe la alternativa de calcular esta tasa de rendimiento "futurizando todos los importes (positivos o negativos) excepto el primero", como lo indica Fornero (2000) pág. 14.

$$VA(FF(-)_t, k) = \frac{VT(FF(+)_t, k, T)}{(1+TIRM^*)^T}$$

donde T es igual a la duración del proyecto de mayor vida.

Con repetición y mismo costo de capital. Para el ejemplo de la tabla 1, con el mismo costo de capital (k=11,5%) para ambas alternativas, asumiendo repetición idéntica, se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7:TIRM, TIRM* y RRIA para el ejemplo inicial.

Alternativa	TIRM	TIRM*	RRIA
A	14,6%	14,6%	15,8%
B	20,73%	25,19%	22,63%

Estos resultados indican que es preferible la alternativa B, conclusión consistente con la cadena de reemplazo y la anualidad equivalente.

Como toda tasa de rentabilidad, la $TIRM^*$ y la RRIA no siempre clasifican adecuadamente a los proyectos cuando la inversión tiene diferente escala. Sin embargo, aún con la misma escala y mismo costo de capital para ambos proyectos, la $TIRM^*$ puede clasificar erróneamente los proyectos con vidas desiguales.

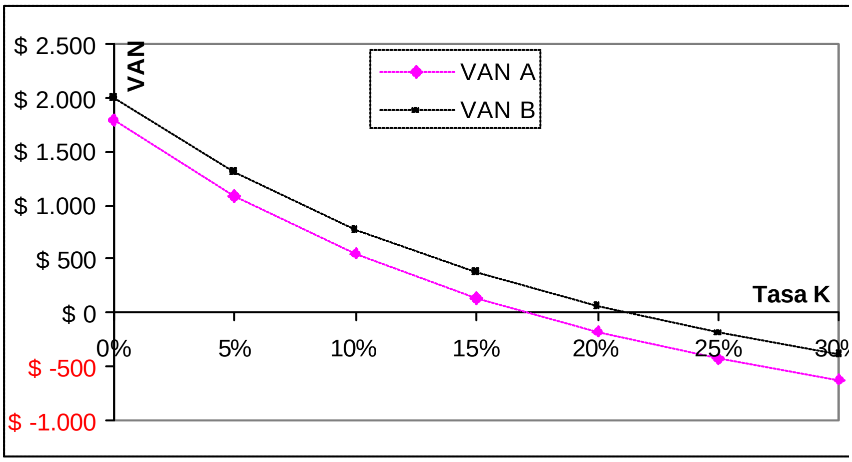
Para evitar el problema de escala, considérese las siguientes alternativas mutuamente excluyentes, ambas con el mismo costo de capital (tabla 8).

Tabla 8: Alternativas de vida desigual e igual escala.

Año	0	1	2	3	4	5	6
A	-2.000	500	400	300	100	1.000	1.500
B	-2.000	700	1.100	1.200			

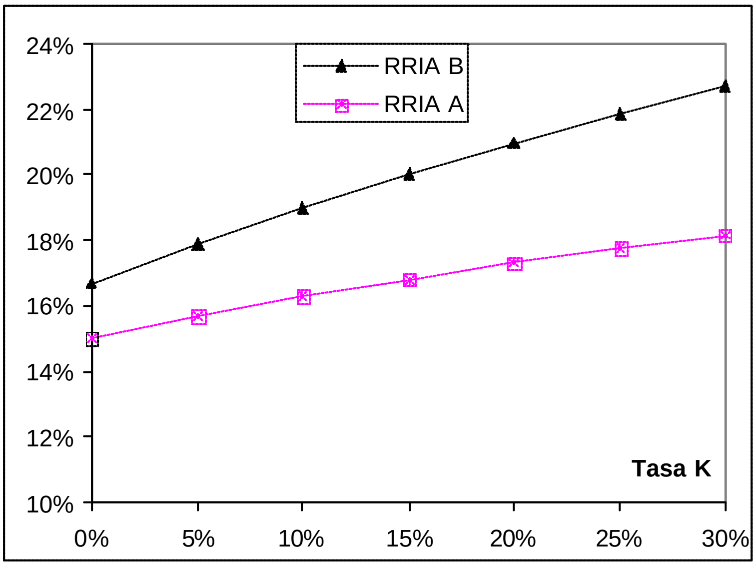
Al considerar la repetición idéntica, el VAN de la cadena de reemplazo para el mínimo horizonte común, 6 años, se presenta en el gráfico 5, donde puede apreciarse que la alternativa B siempre domina a la A.

Gráfico 3
VAN de la cadena de reemplazo para el ejemplo de Tabla 8



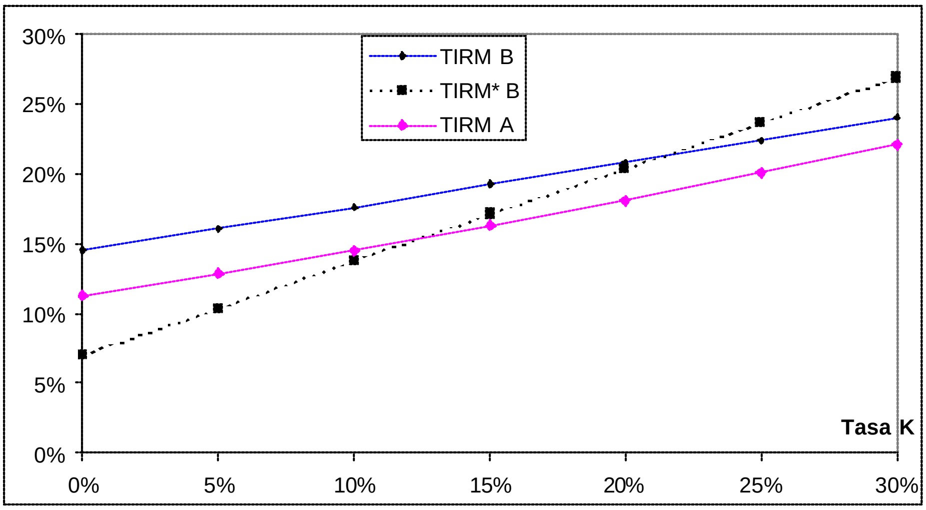
Analizando la tasa RRIA para cada alternativa, como se representa en el gráfico 6, se observa que la conclusión es idéntica al VAN de la cadena de reemplazo, lo cual es de esperarse ya que bajo condiciones de repetición idéntica y mismo costo de capital, la cadena de reemplazo y la anualidad equivalente (implícita en la RRIA) son consistentes entre sí.

Gráfico 4
RRIA para las alternativas de la tabla 8, con repetición



Por otra parte, al analizar el comportamiento de la TIRM y TIRM* de la alternativa B, y la TIRM de A[12], como se muestra en el gráfico 7, se observa que la conclusión de estos criterios no es consistente con el VAN del gráfico 5. Por ejemplo, para k=10%, VAN B > VAN A (para la cadena de reemplazo a 6 años), mientras que TIRM*A>TIRM*B.

Gráfico 5
TIRM y TIRM* para las alternativas de la tabla 8 [13]



Sin posibilidad de repetición. Tomando el mismo ejemplo de la tabla 8, considérese ahora que no hay posibilidad de repetición. Para el mismo costo de capital de las alternativas, tanto la tasa RRIA como la TIRM* son consistentes con el VAN de un solo ciclo, tal como se ilustra en los Gráficos 7, 8 y 9. Para k= 12,35%, ocurre que RRIA $_A$ = RRIA $_B$; TIRM*$_A$=TIRM*$_B$ y VAN $_A$ (1 ciclo) = VAN $_B$ (1 ciclo).

Cuando no hay repetición, la tasa RRIA es simplemente el índice de rentabilidad más el costo de capital del proyecto. Siguiendo este criterio, entre dos proyectos mutuamente excluyentes con diferente costo de capital, es preferible el de mayor índice de rentabilidad. Esta regla será consistente con el VAN, excepto en proyectos de diferente escala.

---

[12] Para la alternativa A, TIRM A = TIRM* A.

[13] La TIRM está calculada sobre los flujos de fondos de la vida original de la alternativa. La TIRM* coincide con la TIRM de la cadena de reemplazo (Ver Apéndice).

Gráfico 6
VAN de 1 ciclo para las alternativas de la Tabla 8.

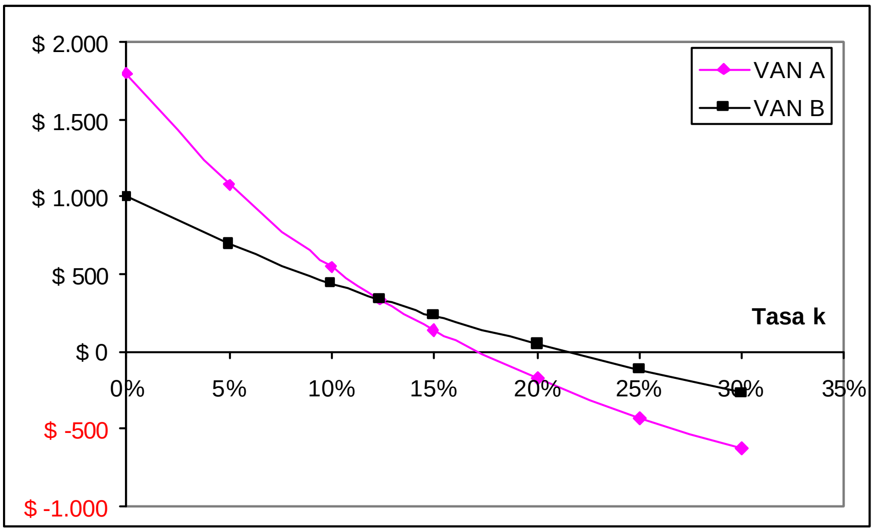
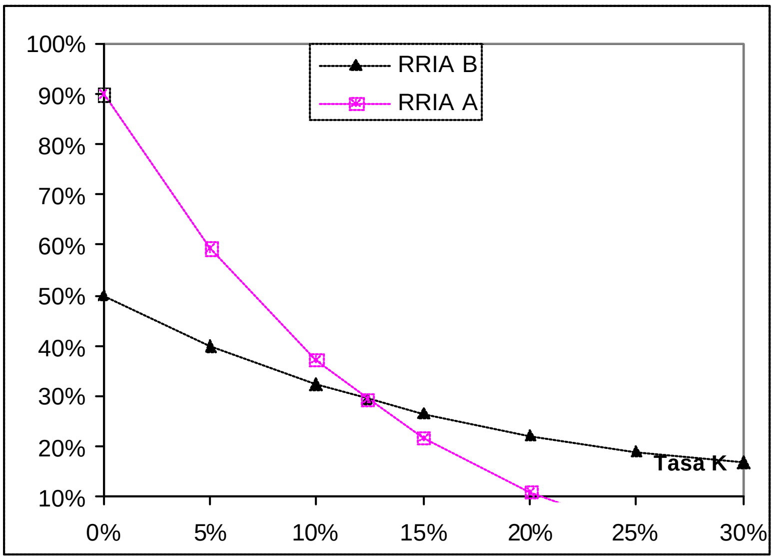


Gráfico 7
RRIA para las alternativas de la tabla 8, sin repetición



Repetición con distinto costo de capital. Conservando la misma escala, pero con diferente costo de capital de las alternativas, la tasa RRIA deja de ser siempre consistente con el VAN de la cadena de reemplazo, siendo éste un caso que no es cubierto por Volkman (1997). Este conflicto lo hereda la RRIA de la anualidad equivalente, que como se analizó anteriormente, no es consistente cuando las alternativas tienen diferente costo de capital.

Si se considera el ejemplo de la Tabla 8 (misma escala), al analizar la sensibilidad de la tasa RRIA a diferentes combinaciones de costo de capital, se puede encontrar al menos una situación de inconsistencia con el VAN, como se ilustra en la Tabla 9, para k_A=11,5%, k_B =15% y un horizonte común de 6 años.

El conflicto entre RRIA y cadena de reemplazo puede presentarse, al igual que con la anualidad equivalente, cuando $AE_A(k_A, FF_A, t_A) > AE_B(k_B, FF_B, t_B)$ y $k_A > k_B$.

Y también cuando $AE_A(k_A, FF_A, t_A) = AE_B(k_B, FF_B, t_B)$ y el valor actual de la inversión es el mismo para ambos proyectos, ya que entonces ocurre que el término $\dfrac{AE(k, n, FF_t)}{VA(FF(-)_t, k)}$ es igual para ambas alternativas, y por lo tanto la RRIA considerará a ambas alternativas equivalentes en la creación de valor.

Tabla 9: Conflicto entre VAN y RRIA

Alternativa	VAN cadena	AE	RRIA	Spread (RRIA-k)[14]
A	$412,18	$98,94	16,44%	4,94%
B	$380,36	$100,5	20,03%	5,03%
Elegir	A	B	B	

Como conclusión sobre la RRIA, Volkman (1997) señala que este criterio mejora ciertos aspectos de la TIRM y la TIR, como el conflicto con el VAN cuando hay distinta ocurrencia temporal de los flujos de fondos, cumplimiento de la aditividad del valor, el caso de proyectos no convencionales y racionamiento de capital. En especial, el autor destaca como atractivo de la RRIA su naturaleza de tasa de rentabilidad, concepto fácilmente transmisible a los empresarios. En la situación de alternativas desiguales, de igual escala de inversión y costo de capital, la RRIA se comporta en forma semejante a la anualidad equivalente, llevando a la misma conclusión que la cadena de reemplazo.

Con respecto a las desventajas de este método, Volkman (1997) subraya la inconsistencia frente a proyectos de distinta escala. Más allá de este punto, para la situación de vidas desiguales, la RRIA tiene la limitación de asumir repetición idéntica. Cuando el costo de capital difiere entre ambas alternativas, la RRIA, al igual que la anualidad equivalente, no garantiza consistencia con la cadena de reemplazo. Por otra parte, como la RRIA es independiente del horizonte común T, no reflejará el efecto de considerar distintos horizontes.

Por su parte, la TIRM* incorpora el supuesto de reinversión de los flujos de fondos intermedios al costo de capital hasta el periodo común T, pero puede ser inconsistente con el VAN de la cadena de reemplazo aún si no difiere la inversión inicial.

4.2 VAN modificado

Sin posibilidad de repetir la inversión (Caso 1 Emery). Hsieh, C. y Vines,T (2005) advierten que la recomendación de Emery para el llamado *Caso 1* (sin repetición: considerar el VAN de un solo ciclo), no es siempre apropiada.

Consideran el ejemplo de una explotación minera de carbón, donde la Alternativa A permite la extracción en un periodo de 10 años, y la Alternativa B en un periodo de 8 años. Suponiendo que el VAN de ambas alternativas fuera el mismo, la alternativa B podría ser superior, ya que libera más rápido fondos que pueden ser reinvertidos en otro proyecto de inversión con VAN positivo. Al considerar únicamente el VAN de un ciclo, se está asumiendo que los flujos de fondos liberados se reinvierten al costo de capital, es decir, en proyectos con VAN cero. Como este supuesto no es cierto para empresas con oportunidades de inversión rentables, Hsieh, C. y Vines,T (2005) proponen emplear como tasa de reinversión el rendimiento promedio de las alternativas de inversión, calculando así el VAN Modificado:

$$VANM = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FF_t(1+RR^*)^{n-t}}{(1+k)^t}$$

donde I_0 es la inversión inicial, FF_t es el flujo de fondos del periodo t, n es la duración de la alternativa, RR^* es el rendimiento promedio de la inversión y k es el costo de capital de la alternativa.

[14] Al enfrentar diferente costo de capital para cada alternativa, el criterio de decisión a seguir es que el mejor el proyecto tiene mayor spread RRIA – k.

La desventaja de este enfoque es que asume que las reinversiones tienen el mismo costo de capital (y por tanto riesgo similar) que la alternativa inicial. Por lo tanto Hsieh, C. y Vines,T (2005) proponen la siguiente modificación:

$$VANM^{*} = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FF_t (1+RR^{*})^{N-t}}{(1+k)^t (1+k_c)^{N-t}}$$

donde k es el costo de capital de la alternativa, k_c es el costo de capital de la empresa y N es la duración del proyecto.

La tasa de reinversión RR^* puede ser estimada a partir del rendimiento de las inversiones actuales, teniendo en cuenta factores como inflación esperada, competencia y cambios tecnológicos. Como la reinversión se realiza en las oportunidades de inversión generales de la empresa, el costo de capital de la empresa sería una tasa apropiada[15]. Empleando el $VANM^*$, se puede igualar las vidas de las alternativas incluyendo la reinversión de los flujos de fondos liberados hasta el horizonte del proyecto (N).

Si para el ejemplo inicial se considera que la vida del proyecto (N) es 6 años, y no se puede repetir la alternativa (Caso 1 de Emery), para la Alternativa B el proceso de cálculo del $VANM^*$ sería:

$$VANM^{*} = -2.000 + \frac{700 \times (1+RR)^{(6-1)}}{(1+k)(1+k_c)^{(6-1)}} + \frac{1.300 \times (1+RR)^{(6-2)}}{(1+k)^2 (1+k_c)^{(6-2)}} + \frac{1.200 \times (1+RR)^{(6-3)}}{(1+k)^3 (1+k_c)^{(6-3)}}$$

Si se considera RR=15%, Kc=10% y K=11,5%, el proceso realizado puede describirse según lo muestra el gráfico 10. Y se obtiene $VANM^*_B$ = \$ 1.022,38.

Considerando las mismas tasas para la Alternativa A→ $VANM^*_A$ = \$ 1.349,21. En este caso sería recomendable la Alternativa A[16].

Esta herramienta permite también evaluar alternativas con diferente costo de capital.

Gráfico 8: Proceso de cálculo del VANM*, para el FF3

Año	0	1	2	3	4	5	6
FF	-2.000	700	1.300	1.200			

$1200x(1+RR)^{(6-3)}$ → \$1.825,05

\$1.371,19 ← $1825/(1+Kc)^{(6-3)}$

\$989,17 ← $1.371/(1+K)^3$

Posibilidad de repetir la inversión. Con respecto a los casos en los cuales hay posibilidad de repetir la alternativa durante la vida del proyecto, Hsieh, C. y Vines,T (2005) recomiendan también el empleo del $VANM^*$, pero re-estimando los flujos de fondos derivados de cada inversión, en vez de suponer que se repiten en forma idéntica.

[15] La reinversión de los flujos de fondos es de la empresa y no de la alternativa particular.

[16] Es la misma conclusión que se obtiene con el VAN de un ciclo, aunque esta coincidencia no resultará así en todos los casos.

En ciertas situaciones se puede presentar un conflicto entre la recomendación del VAN vs. el VANM*. Considerando el ejemplo inicial (tabla 1), con una vida de 6 años del proyecto y dos alternativas A y B, al calcular el VAN de la cadena de reemplazo, con un costo de capital de 11,5% para ambos proyectos, se obtiene:

VAN_A = $ 716,51 VAN_B = $928,09 → Elegir B

Mientras que mediante el VANM* (con RR=15%, Kc=10%) se obtiene:

$VANM^*_A$ = $ 1.349,21 $VANM^*_B$ = $1.282 → Elegir A

Una particularidad del VANM* que no es analizada por Hsieh, C. y Vines,T (2005), es que en este método los flujos intermedios negativos también son capitalizados a la tasa RR (rendimiento promedio de la inversión) y posteriormente actualizados a la tasa Kc. Esto no es coherente con el significado de un flujo negativo, que indica una necesidad de fondos del proyecto, que debería entonces ser financiada al costo de capital del proyecto.

Se propone entonces la siguiente variación del VANM*, a fines de diferenciar el tratamiento de flujos de fondos positivos y negativos:

$$VANM^{**} = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FF(+)_t (1+RR^*)^{N-t}}{(1+k)^t (1+k_c)^{N-t}} + \sum_{t=1}^{n} \frac{FF(-)_t}{(1+k)^t}$$

donde los FF(-) son actualizados al costo de capital del proyecto.

Al calcular el VANM** para la alternativa B en la tabla 1 (RR=15%, Kc=10%, k=11,5%, N=6), se obtiene $VANM^{**}_B$= $1.364,22.

Como la alternativa A no tiene FF(-) intermedios, $VANM^*_A$ = $ 1.349,21, y entonces la mejor alternativa bajo este criterio es B, igual recomendación que el VAN de la cadena de reemplazo.

Sin embargo, esta modificación no evita los conflictos entre VAN (cadena de reemplazo) y VANM**. Por ejemplo, para las alternativas de la tabla 1 (con repetición), si el costo de capital de las alternativas fuera 10% (igual a Kc), entonces se tendría:

VAN_A = $ 928,11 VAN_B = $1.072,37 → Elegir B

Mientras que mediante el VANM** (con RR=15%, Kc=10%) se obtiene:

$VANM^{**}_A$ = $ 1.580 $VANM^{**}_B$ = $1.520 → Elegir A

El método del VANM*, al igual que el VAN de la cadena de reemplazo, requiere definir el plazo N (la duración del proyecto[17]) y el costo de capital del proyecto. Además, si se repite la inversión, se debe buscar la mejor estimación de los flujos futuros, teniendo en cuenta que la repetición idéntica no es necesariamente la mejor aproximación.

El aporte del VANM* radica en la modificación del supuesto de reinversión de los flujos de fondos intermedios, y la tasa de actualización apropiada para el valor terminal de los mismos durante el periodo de reinversión. Por este motivo, se necesita calcular dos tasas adicionales:

- La tasa RR^*, el rendimiento promedio de las inversiones.
- Kc, el costo de capital de la empresa.

cuya precisión en la estimación definirá el grado de utilidad del VANM*. En particular, resulta difícil definir un rendimiento promedio de la inversión y costo de capital de la empresa que sean ambos constantes cuando el horizonte es relativamente largo.

Con respecto a la proyección de los flujos de fondos de los subsecuentes ciclos de reinversión, el enfoque propuesto por Hsieh, C. y Vines,T (2005) tiene una limitante principal. Bajo la

---

[17] Se vio anteriormente que la alternativa elegida según el VAN de la cadena de reemplazo depende, cuando difiere el costo de capital, del horizonte común T que se considere. Siguiendo a Musumeci (1999) y Pilotte (2000) se considera a N (la vida del proyecto) como la mejor opción para definir T.

repetición idéntica, el ciclo de inversión puede repetirse indefinidamente, ya que si el VAN de un ciclo es positivo, lo será en todas las repeticiones siguientes. Sin embargo, al considerar que los flujos de fondos varían en las repeticiones, no se puede garantizar que las repeticiones sean necesariamente convenientes sin un análisis secuencial de las mismas.

4.3 VAN a perpetuidad con repetición no idéntica (VAN 8)

Eagle y Kiefer (2004) proponen calcular el VAN de repetir el proyecto a perpetuidad incorporando los efectos de la competencia y el cambio tecnológico, que afectan en forma diferencial a la inversión inicial y a los flujos de fondos posteriores.

Con respecto a la inversión, asumen que disminuye en el tiempo en función del cambio tecnológico según:

$$I_j = (1-c)^n \, I_{j-1} \qquad y \quad I_j = (1-c)^{nj} \, I_0$$

donde Ij es la inversión en el la repetición j-ésima, I_{j-1} es la inversión en el la repetición inmediata anterior, I_0 es la inversión inicial en t = 0, c es el coeficiente de cambio tecnológico y n es la duración de los flujos de fondos de la inversión.

El valor actual de los flujos de fondos que genera la inversión también disminuye en el tiempo según:

$$VA_j = (1-h)^n \, VA_{j-1} \; y \quad VA_j = (1-h)^{nj} \, VA_0$$

donde VA_j es el valor actual de los flujos de fondos posteriores, para la repetición j-ésima y h es un coeficiente que combina cambios tecnológicos y de mercado.

Teniendo en cuenta que $VAN_j = VA_j - I_j$, los autores calculan el VAN de repetir a perpetuidad el proyecto:

$$VAN_\infty = \frac{VA_0}{\left(1-\left[\frac{1-h}{1+k}\right]^n\right)} - \frac{I_0}{\left(1-\left[\frac{1-c}{1+k}\right]^n\right)}$$

Para ilustrar la aplicación de este método, considérese nuevamente el ejemplo de la tabla 1, con k = 11,5% para ambas alternativas, c = 2% y h = 1%. En la tabla 10 se muestra el VAN de cada ciclo de inversión, para la repetición indicada, expresado en $ del momento de la inversión respectiva. La repetición cero es el ciclo inicial. El VAN de cada repetición varía por los cambios en la inversión inicial y flujos de fondos posteriores.

Tabla 10: VAN de cada alternativa en la repetición indicada

Repetición	A	B
0	$ 716,51	$ 539,15
1	$ 897,13	$ 581,35
2	$ 1.041,78	$ 618,87
3	$ 1.155,45	$ 652,06
10	$ 1.390,46	$ 787,24
20	$ 1.057,88	$ 794,21
100	$ 11,32	$ 119,86
150	$ 0,55	$ 27,35
200	$ 0,027	$ 6,10

El VAN a perpetuidad de esta cadena de reemplazo, con repetición no idéntica es VAN_∞ = $1.826,12 para A y VAN_∞ = $1.267,73 para B, resultando entonces A la mejor alternativa.

Es importante resaltar que este método sólo es consistente con la maximización del valor si $VA_o(1-h)^{nj} - I_0(1-c)^{nj} > 0$ para cualquier j. Es decir, si cada repetición de la inversión tiene VAN positivo.

Si $VA_0 > I_0$ (el VAN de la inversión inicial es positivo) y

- c $\geq$ h (el valor de la inversión inicial decrece más rápidamente que el valor actual de los flujos de fondos positivos), entonces esta condición está asegurada para todas las repeticiones[18]. El VAN de las repeticiones j→ 8 tenderá a cero.
- c < h (el valor de la inversión inicial decrece más lentamente que el valor actual de los flujos de fondos), entonces a partir de alguna repetición j* el VAN de la repetición será negativo. En este caso, el ciclo de reinversión deber finalizarse en la última repetición con VAN positivo.

Si $VA_0 < I_0$ (el VAN de la inversión inicial es negativo) y :

- c > h, entonces a partir de alguna repetición j* el VAN de esa repetición (y las subsiguientes) será positivo. La recomendación es, si es posible, postergar la inversión en el tiempo, siendo la primera inversión el primer ciclo con VAN positivo.
- c $\leq$ h, ninguna repetición tendrá VAN positivo, y VAN_j tenderá a cero para j→ 8 .

Proyectos no convencionales. Cuando existen inversiones posteriores, el VAN_∞ propuesto por Eagle y Kiefer (2004) puede recalcularse considerando el valor actual de todas las inversiones que se requieran durante la vida del proyecto. Esto implica asumir que todas las inversiones son afectadas por la misma tasa c de cambio tecnológico.

Alternativas con diferente costo de capital. Como este método considera el VAN a perpetuidad de una cadena de reemplazo no idéntica, incorpora directamente el costo de capital de cada alternativa, sin presentar conflictos.

En resumen, este método presenta la adición, con respecto a la cadena de reemplazo tradicional, de considerar repeticiones no idénticas del proyecto. Como desventaja, asume repetición a perpetuidad, lo cual no es siempre conveniente en términos de la maximización del valor, y a veces no es la mejor representación del horizonte común esperado del proyecto.

4.4 Incorporación de la flexibilidad: el análisis de árbol de decisiones

Considérese el siguiente ejemplo: un proyecto con un horizonte de 8 años puede llevarse a cabo a través de dos maquinarias alternativas, A y B. En el momento de realizar la inversión no se conocen las condiciones de la naturaleza, que pueden ser buenas con probabilidad de 70%, o malas. La alternativa A tiene una vida de 6 años, y la B de cuatro años. Los flujos de fondos bajo cada estado de la naturaleza son:

El estado de la naturaleza se conoce después de realizar la primera inversión, y éste se mantiene para toda la vida del proyecto. El costo de capital es 10% para ambas alternativas. En el gráfico 11 se muestra el árbol de decisiones correspondiente.

Siguiendo la resolución por inducción hacia atrás, para la alternativa A primero se analiza la decisión de reinversión del año 6, y luego la del momento cero.

[18] $(1\text{-}h)^{nj}$ y $(1\text{-}c)^{nj}$ son decrecientes en j, y $\lim_{j\rightarrow 8} (1\text{-}h)^{nj} = 0$

Tabla 11: Alternativas A y B bajo distintas condiciones de la naturaleza

Proyecto A	0	1	2	3	4	5	6
Buenas	-3000	800	800	800	800	600	600
Malas	-3000	720	720	720	720	540	540

Proyecto B	0	1	2	3	4
Buenas	-2500	1200	1000	500	1200
Malas	-2500	840	700	350	840

Para el nodo B2 (en t = 6):
VAN (Invertir en A¦ dado que las condiciones son buenas) = $247,13[19]
VAN (No invertir) = 0
} → Invertir en A

Para el nodo B3 (en t = 6):
VAN (Invertir en A¦ dado que las condiciones son malas) = - $77,48
VAN (No invertir) = 0
} → No invertir

Entonces, si las condiciones son malas no se repite la inversión en t=6.

Para el nodo A1 (en t = 0):
VE (Invertir en A) = VE (A, cuando las condiciones son buenas) + VE (A, cuando las condiciones son malas)

$$\text{VE (Invertir en A)} = \left(\underbrace{247{,}13}_{\text{VAN de invertir en A en t=0}} + \underbrace{\frac{247{,}13}{1{,}1^{6}}}_{\text{VAN de invertir en A en t=6}}\right)\times 0{,}7 + 0{,}3\times\underbrace{(-77{,}58)}_{\text{VAN de invertir en A en t=0}} = \$247{,}4$$

Para el nodo B4 (en t = 4):
VAN (Invertir en B¦ dado que las condiciones son buenas) = $612,63
VAN (No invertir) = 0
} → Invertir en A

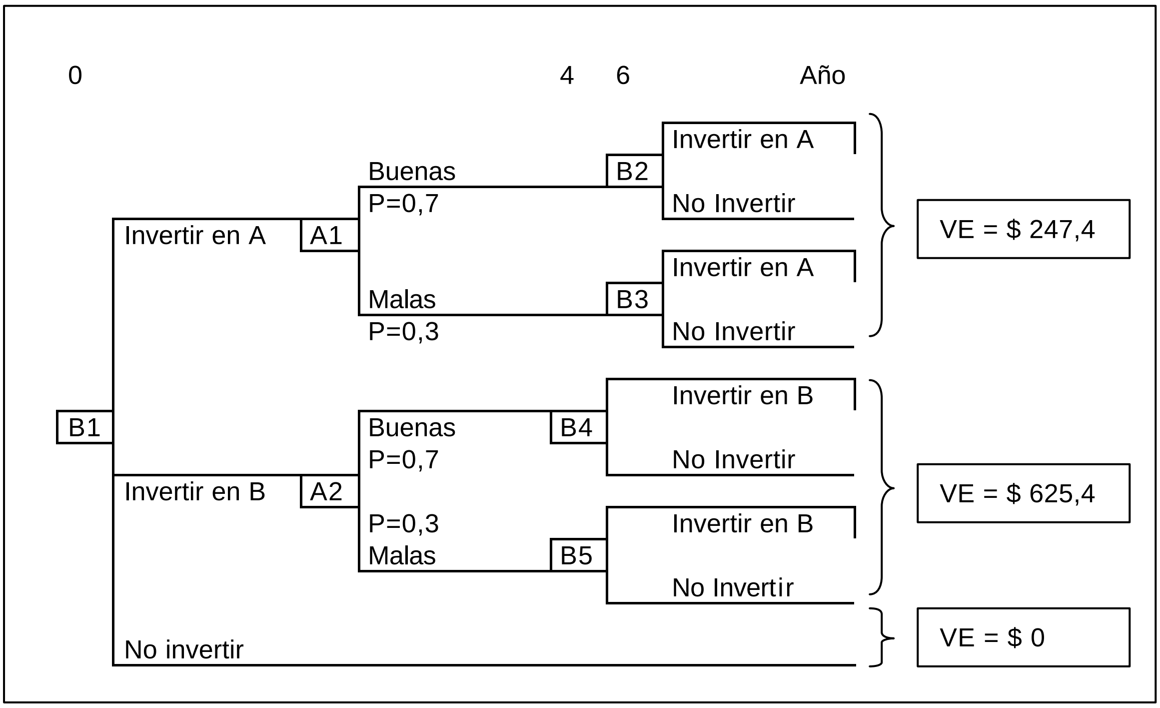
Para el nodo B5 (en t = 4):
VAN (Invertir en B¦ dado que las condiciones son malas) = - $-321,16
VAN (No invertir) = 0
} → No invertir

Para el nodo A2 (en t = 0):
VE (Invertir en B) = VE (B, cuando las condiciones son buenas) + VE (B, cuando las condiciones son malas)

$$\text{VE (Invertir en B)} = \left(612{,}63 + \frac{612{,}63}{1{,}1^{4}}\right)\times 0{,}7 + 0{,}3\times(-321{,}16) = \$625{,}4$$

[19] Se considera como valor terminal de la inversión al valor actual del flujo de fondos futuros.

Gráfico 9: Árbol de decisiones



Entonces la secuencia de decisiones es:

- En t = 0, invertir en B.
- En t = 4
  → si las condiciones resultaron buenas, repetir la inversión en B.
  → si las condiciones resultaron malas, no invertir.

Al ejemplo planteado se le puede incorporar:

- La opción de abandonar el proyecto, una vez que se conoce que las condiciones son desfavorables, al finalizar el primer año[20].
- Flujos de fondos diferentes para las repeticiones.
- La posibilidad de cambiarse de una alternativa a otra (con costos de cambio).
- Un nuevo evento aleatorio después de la repetición.

Según señala Trigeorgis (1997), el análisis de árbol de decisiones resulta apropiado, en principio, para analizar decisiones de inversiones secuenciales, cuando la incertidumbre se resuelve en momentos discretos del tiempo. Tiene la ventaja de explicitar la interdependencia entre la decisión de inversión inicial y las subsiguientes, y es posible incluir, con ciertas limitaciones[21], la opción de abandono. Para el análisis de alternativas excluyentes con vidas desiguales, un aporte fundamental es el reconocimiento de la flexibilidad en la decisión de inversión, característica que los criterios previamente mencionados no consideran, ya que modelan la repetición como automática.

Entre las limitaciones de esta herramienta, Trigeorgis (1997) menciona:

- Se modelan los eventos como discretos en el tiempo, cuando en la vida real pueden ser continuos.

[20] Con un valor de abandono mayor al valor actual de los flujos de fondos restantes, para que tenga valor.
[21] La opción se da en momentos discretos del tiempo.

- Puede volverse un 'arbusto' demasiado intrincado, cuando se consideran numerosas alternativas y eventos.
- No es fácil determinar cuál es el costo de capital apropiado para las distintas ramas y etapas, ya que no todas poseen el mismo riesgo[22].

Esta última limitación es la más importante. El enfoque de opciones reales permite sobrellevar este defecto, ya que en este contexto la tasa apropiada es la tasa libre de riesgo, sin dejar de lado la flexibilidad del árbol de decisiones. Siguiendo este camino, Brown y Davis (1998) desarrollan un ejemplo de evaluación de alternativas mutuamente excluyentes con vidas desiguales, a través de opciones reales.

5. COMPARACIONES

En la Tabla 12 se presenta un resumen comparativo de los distintos métodos para evaluar alternativas con vidas desiguales. Cuando no es posible la repetición, los criterios disponibles son:

- VAN de un ciclo (el VAN 'simple').
- TIRM*.
- RRIA (sin repetición).
- VANM*.

En un contexto sin repetición e igual escala, el VAN de un ciclo, la tasa RRIA y la TIRM* siempre serán consistentes en sus recomendaciones. El VANM* puede llevar a una conclusión distinta, dependiendo de la tasa de rendimiento y costo de capital que se emplee para las reinversiones de flujos de fondos intermedios. Como el VAN asume reinversión en proyectos con VAN cero, es un enfoque más conservador que el VANM*.

Los criterios disponibles cuando hay posibilidad de repetición son:

- VAN de la cadena de reemplazo
- Anualidad equivalente y perpetuidad
- RRIA
- TIRM*
- VANM*
- VAN8
- Árbol de decisiones
- Opciones reales

Cuando sí es posible repetir la inversión, se incorpora la elección del horizonte apropiado de evaluación. Según Emery, la mejor definición es la vida del proyecto (la actividad que requiere de las alternativas), salvo que el mínimo común múltiplo entre las duraciones de las alternativas sea inferior a la vida del proyecto. Pero esta última recomendación se limita a alternativas de igual costo de capital. Cuando la tasa requerida difiere, la mejor elección de horizonte sigue siendo la vida del proyecto. La desventaja de esta recomendación es que si lo que Emery define como proyecto es la actividad de la empresa, no resulta fácil ni directo definir dicho horizonte de vida.

---

[22] Trigeorgis (1997) señala que emplear la tasa libre de riesgo para estimar una distribución del VAN y su valor esperado tiene dos inconvenientes: la interpretación resulta confusa, y el método, inconsistente. Si se considera a la tasa libre de riesgo como la tasa apropiada, pierde relevancia la situación de alternativas con diferente costo de capital.

Tabla 12: Resumen comparativo de criterios.

Método	Ventajas	Limitaciones
Anualidad equivalente y AE a perpetuidad	-No hay que buscar el horizonte en común.	-Aplicación limitada a alternativas con igual costo de capital. -Asume repetición idéntica
Cadena de reemplazo y VAN de la AE para el horizonte en común	- Selecciona la alternativa de mayor valor aún si difiere el costo de capital entre ambas. -Tiene en cuenta que con diferente k entre las alternativas, la recomendación depende del horizonte común.	- Se debe definir el horizonte en común. - El enfoque tradicional asume repetición idéntica, y automática.
RRIA	-Brinda una tasa de rentabilidad consistente con la cadena de reemplazo cuando las alternativas tienen igual k. - Consistente con VAN de un ciclo cuando no hay repetición, misma escala e igual k.	- Inconsistente cuando difiere la escala de los proyectos. -Aplicación limitada a alternativas con igual costo de capital. -Asume repetición idéntica.
TIRM*	- Busca homogeneizar alternativas de distinta duración empleando la duración del proyecto más largo como tiempo terminal para el proyecto corto. - Consistente con VAN de un ciclo cuando no hay repetición, misma escala y k.	- Inconsistente cuando difiere la escala de los proyectos. - Aún con igual escala, puede ser inconsistente cuando difiere la vida de los proyectos.
VANM*	-Propone una nueva forma de evaluar alternativas de distinta duración que no se pueden repetir. -Explicita la recomendación de tomar la vida del proyecto como horizonte común. -Considera a la cartera de proyectos de la empresa, a través de RR y Kc.	- Trata a los flujos de fondos intermedios negativos igual que a los positivos: se los reinvierte a la tasa promedio de rendimiento.
VAN8	- No asume repetición idéntica, sino un VAN decreciente en las repeticiones.	-Asume repetición a perpetuidad, supuesto que sólo es consistente con la creación de valor si el valor actual de la inversión decrece a una tasa mayor que el valor actual de los flujos de fondos positivos.
Árbol de decisiones	- Explicita la secuencialidad de la decisión. - Incorpora la flexibilidad de no reinvertir.	- No es fácil determinar el costo de capital apropiado para cada rama. - Se necesita información para modelar los estados de la naturaleza.
Opciones reales	- Incorpora flexibilidad. - La tasa apropiada es la tasa libre de riesgo.	-Se necesita definir el proceso estocástico que sigue el subyacente.

De los criterios enumerados anteriormente, la cadena de reemplazo, el VANM*, el árbol de decisiones y las opciones reales tienen en cuenta un horizonte definido. En el caso de la cadena de reemplazo, éste es siempre un común múltiplo de las vidas de las alternativas. Los criterios restantes asumen repetición a perpetuidad.

Otra limitación general a la mayoría de los criterios es que asumen que la repetición genera flujos de fondos idénticos. Sólo el VAN8 de Eagle y Kiefer (2004) considera que el VAN de cada ciclo varía (decrece) con las repeticiones. Por otro lado, la cadena de reemplazo, el VANM, el árbol de decisiones y las opciones reales otorgan libertad de definir los flujos de fondos de las repeticiones.

Por último, una de las limitaciones más importantes de la mayoría de los criterios es que no consideran la flexibilidad que da la decisión de repetir la inversión: está la posibilidad de no llevarla a cabo. En cambio, estos criterios incorporan el supuesto de repetición automática del proyecto, que únicamente en el caso de repetición idéntica garantiza la maximización del valor. El árbol de decisiones y las opciones reales incorporan esta flexibilidad, son aplicables cuando la repetición no es idéntica, y explicitan la definición del horizonte relevante para el análisis: la vida del proyecto.

6. CONCLUSIONES

Una de las principales limitaciones de los dos criterios tradicionales, la anualidad equivalente y la cadena de reemplazo, es que descontextualizan la decisión de reemplazo, ya que le dan importancia a la repetición de la alternativa, sin mayores reparos por el proyecto que le da sentido. En este aspecto, la clasificación propuesta por Emery (1982) permite recuperar el contexto en el cual se analizan proyectos mutuamente excluyentes con vidas desiguales, lo cual le confiere además potencial didáctico.

Entre los distintos criterios, tradicionales y alternativos, que se han desarrollado para resolver este problema, se resaltan tres inconvenientes: la adopción de un horizonte infinito, que no siempre resulta apropiado, y la repetición idéntica y automática de la inversión. El mayor peligro radica en la repetición automática, que sin la condición de idéntica puede conducir a decisiones que no maximicen el valor. Los análisis de árbol de decisiones y opciones reales se destacan por su capacidad de modelar correctamente la secuencia y flexibilidad de las decisiones.

REFERENCIAS

Beedles, W L. and Joy, O. M, (1997), Mutually exclusive projects with unequal lives, reinvestment plans and unequal required rates of return, *Journal of Financial Education*, 81-83.

Brown, C.A and Davis, KT (1998), Options in mutually exclusive projects of unequal lives, *Quarterly Review of Economics and Finance*, 38 (Special Issue), 569-577 .

Eagle, D. and Kiefer, D. (2004), Comparing capital projects with unequal lives: Inflation and technology Issues, *The Journal of Accounting and Finance Research*, 12(#7), Winter II.

Ehrhardt, Michael and Brigham, Eugene F.C. (2003), *Corporate Finance: A Focused Approach,* University of Tennessee.

Emery, D. y Finnerty, J. (2000), *Administración Financiera Corporativa,* Prentice Hall.

Emery, Gary W. (1982), Some guidelines for evaluating capital investment alternatives with unequal lives, *Financial Management*, 14-19.

Fornero, Ricardo (2000), Evaluación de proyectos: dos notas técnicas, *Cuadernos de Finanzas* 53, Documentos de trabajo de SADAF.

Hsieh, C. and Vines, T. (2005), Capital budgeting when projects have unequal lives and costs of capital, *Financial Decisions* (autumn), disponible en http://www.financialdecisionsonline.org/fall2005_index.html

McDaniel, W.R., McCarty, D.E. and Jessell, K. (1988) Discounted cash flow with explicit reinvestment rates: Tutorial and extension, *The Financial Review*, Vol. 23, No. 3, 369-385.

Musumeci, Jim (1999), Another look at mutually exclusive alternatives with unequal lives and required returns, *Journal of Financial Education*, 18-20.

Pilotte, Eugene A. (2000), Evaluating mutually exclusive projects of unequal lives and differing risks, *Financial Practice and Education* 10:2, 101-105.

Ross, Westerfield y Jaffe (2002), *Corporate Finance*, 6º Ed, Ed. McGraw-Hill/Irwin.

Trigeorgis, L. (1997), *Real Options*, MIT Press.

Volkman, D. (1997), A consistent yield-based capital budgeting method, *Journal Of Financial and Strategic Decisions,* Volume 10 Number 3, 75-88.

APÉNDICE

Anualidad equivalente, cadena de reemplazo y horizonte en común.

¿Cuándo existe conflicto entre el ranking de la AE, y la cadena de reemplazo, para diferente costo de capital?

Si $AE_A(k_A, FF_A, n_A) = AE_B(k_B, FF_B, n_B)$ y $k_A < k_B$, no habrá conflicto, porque se cumple para cualquier T que:

$$\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^T}\right] AE_A(k_A, FF_A, n_A) > \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^T}\right] AE_B(k_B, FF_B, n_B)$$

dado que la AE no varía con el horizonte en común, y para un mismo periodo T el valor actual de la anualidad será mayor para la menor tasa.

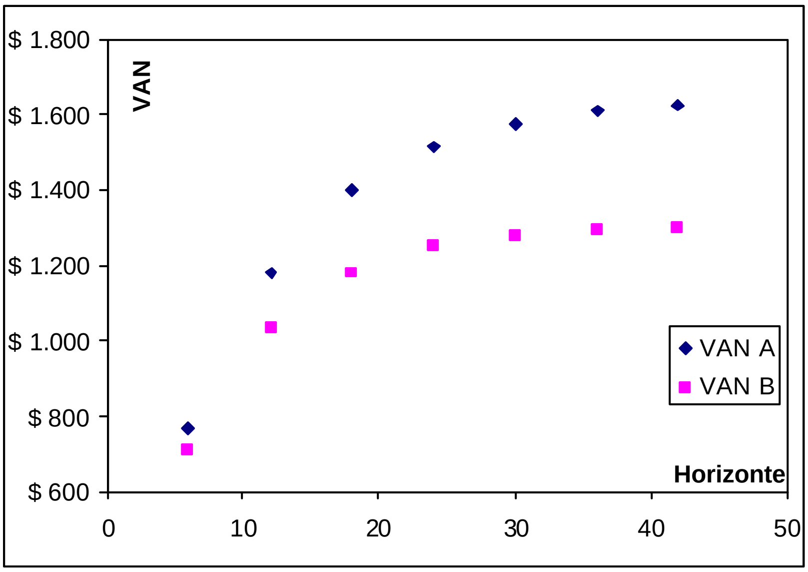
Para el ejemplo de la Tabla 1, si k_A = 11,105 % y k_B = 14%, la AE es $182,76 para ambas alternativas, y para cualquier horizonte se cumple que A es mejor que B

Si $AE_A(k_A, FF_A, n_A) > AE_B(k_B, FF_B, n_B)$ y $k_A < k_B$, entonces para cualquier T se cumple necesariamente que:

$$\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^T}\right] AE_A(k_A, FF_A, n_A) > \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^T}\right] AE_B(k_B, FF_B, n_B)$$

ya que siempre $\left[\frac{1}{k_A} - \frac{1}{k_A(1+k_A)^T}\right] > \left[\frac{1}{k_B} - \frac{1}{k_B(1+k_B)^T}\right]$.

Gráfico 10
Perfil del VAN para distintos horizontes en común (T), con AE A = AEB



La TIRM* es la TIRM de la cadena de reemplazo

Dada una alternativa de inversión con vida de 3 años, como se muestra en la Tabla 13, si se desea calcular la TIRM* para T=6 años, se obtiene:

$$I_0 = \frac{FF_1(1+k)^5 + FF_2(1+k)^4 + FF_3(1+k)^3}{(1+TIRM*)^6}$$

Tabla 13: Alternativa de inversión con 3 años de duración.

0	1	2	3	4	5	6
-I	FF1	FF2	FF3			

Si se multiplica a ambos miembros por $\left[\frac{(1+k)^3+1}{(1+k)^3}\right]$, se obtiene

$$I_0 + \frac{I_0}{(1+k)^3} = \frac{FF_1(1+k)^5 + FF_2(1+k)^4 + FF_3(1+k)^3 + FF_1(1+k)^2 + FF_2(1+k)^1 + FF_3}{(1+TIRM*)^6}$$

Y ésta es la ecuación que da la TIRM para la cadena de reemplazo.