

## ANEXO V.1 MODELO MATEMATICO DE VALORACION ECONOMICA

### 0. Introducción

Para el análisis económico de la inversión correspondiente a las distintas configuraciones de plantas fotovoltaicas en la búsqueda de la configuración óptima, se ha utilizado **el método de los flujos de caja descontados**, por ser el método de análisis de inversiones más empleado y fiable. Éste método es consistente con la definición y metodología de cálculo establecida en el documento de la **Agencia Internacional de la Energía** "Guidelines for the Economic Análisis of Renewable Energy Technology Applications", París 1991.

Como es bien conocido, este método consiste en definir la inversión en función de la corriente de cobros y pagos que origina. Esta corriente financiera o dineraria es lo que se denomina el flujo de caja o cash-flow de la inversión.

Una vez definidas las inversiones por sus flujos de caja asociados, la comparación entre ellas se lleva a cabo actualizando sus rendimientos, mediante el empleo de la fórmula del descuento y la oportuna corrección por inflación.

La relativa complejidad del método de los flujos de caja descontados, se ve compensada por la multitud de parámetros e indicadores sobre la calidad de la inversión que se pueden obtener mediante su aplicación.

De todos los posibles indicadores, los que se han seleccionado para el análisis económico que nos ocupa son los siguientes:

- **Valor Actualizado Neto (VAN).** Valor actualizado de los flujos de caja generados durante la vida útil de la inversión.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR).** Tasa de descuento para la cual el Valor Actualizado Neto es cero.

- **Plazo de Recuperación con Actualización (PRA).** Tiempo mínimo a partir del cual la suma de ingresos actualizados empieza a ser mayor o igual a la suma de gastos actualizados.
- **Coste Actualizado Promedio del kWh Eléctrico (CAP).** Cociente entre el Coste Anual Promedio, que se determina calculando una corriente ficticia de pagos constantes cuyo valor actualizado es igual a la corriente real variable de pagos previstos (sin incluir el pago del impuesto de sociedades) y la cantidad anual de energía eléctrica producida por la planta expresada en kWh. La necesidad de emplear la fórmula del descuento para comparar y seleccionar inversiones es la razón fundamental por la cual se define la inversión en función de su corriente de liquidez (diferencia entre cobros y pagos) y no en función de su corriente de renta (diferencia entre ingresos y gastos). **El CAP es el precio mínimo al que habría que remunerar la producción de electricidad para que la inversión en la planta fotovoltaica no fuera onerosa,**
- **Mínimo Índice de Cobertura de la Deuda (MICD).** Valor mínimo que alcanza, a lo largo de la vida útil de la planta, el cociente entre el flujo operativo anual (sin incluir el pago de la deuda) antes de impuestos y el pago anual de la deuda (capital + intereses).

El valor de estos indicadores depende considerablemente de las hipótesis económicas de partida, por lo que se ha realizado un análisis de sensibilidad para determinar el comportamiento de la inversión bajo diferentes supuestos económicos.

## 1. Modelo matemático, variables y símbolos

Los variables y los símbolos principales que se utilizan en la descripción de los diferentes modelos matemáticos que se presentan en este documento son las siguientes<sup>115</sup>:

- $I$  Inversión o desembolso inicial de capital propio.
- $P_j$  Pago o salida de dinero originado por la inversión durante el año  $j$ , incluido el impuesto de sociedades.
- $T_j$  Pago que corresponde pagar al Estado en el año  $j$  en concepto de impuesto de sociedades.
- $P'_j$  Pago o salida de dinero originado por la inversión durante el año  $j$ , excluido el impuesto de sociedades u otros gravámenes ( $P'_j = P_j - T_j$ )
- $C_j$  Cobro o entrada de dinero originado por la inversión durante el año  $j$ .
- $F_j$  Flujo neto de caja o cash-flow del año  $j$ , calculado como diferencia entre los cobros y los pagos durante ese año ( $F_j = C_j - P_j$ ) de forma que cuando los ingresos son superiores a los gastos  $F_j > 0$  y viceversa.
- $F'_j$  Flujo neto de caja o cash-flow del año  $j$  antes de impuestos, calculado como diferencia entre los cobros y los pagos (exceptuando el correspondiente al gravamen) durante ese año ( $F'_j = C_j - P'_j$ ) de forma que cuando los ingresos son superiores a los gastos  $F'_j > 0$  y viceversa.
- $n$  Duración de la inversión. Número de años que transcurren desde que se efectúa el primer desembolso asociado con la inversión hasta que se produce el último cobro o pago.

---

<sup>115</sup> Estas definiciones son consistentes con la definición y metodología de cálculo establecida en el documento de la Agencia Internacional de la Energía "Guidelines for the Economic Analysis of Renewable Energy Technology Applications", París 1991

- **k** Tasa de descuento anual. Es la tasa a la que el dinero debe aumentar de año en año en inversiones productivas para la empresa o entidad que va a tomar la decisión de invertir. Esta tasa refleja un coste de oportunidad y es, por tanto, específica de la coyuntura que en cada momento se encuentre la empresa o entidad.
- **g** Tasa de inflación anual. Es la tasa anual de subida general de los precios.
- **D** Deuda o cuantía total de fondos ajenos que se financian, utilizados.
- **i** Interés financiero o tasa de remuneración nominal de la deuda.

## 2. Simplificaciones generales

Para el modelado matemático del método de los flujos descontados se han efectuado las siguientes simplificaciones:

- I. La inversión o desembolso inicial del capital propio se supone que se efectúa de forma completa en el instante inicial, último día del año 0, del periodo de duración de la inversión.
- II. La obtención de fondos ajenos o endeudamiento necesario se supone que se efectúa, también, en el instante inicial, último día del año 0, del periodo de duración de la inversión. Asimismo, se supone que el periodo de devolución de la deuda coincide con el de duración de la inversión.
- III. Los cobros y pagos, incluyendo el pago anual del gravamen, se supone que se producen el último día de cada año.
- IV. En los casos en los que el valor residual de la inversión es distinto de cero, se supone que el cobro asociado con su enajenación se produce el último día de la vida útil de la inversión.

V. La tasa de descuento y la tasa de inflación anual se suponen constantes a lo largo de la vida de la inversión.

Con las simplificaciones anteriores, como se ilustra en la Figura 1, una inversión se modela mediante el desembolso inicial, o inversión propiamente dicha y tantos flujos netos de caja (diferencia entre los cobros y los pagos, incluido el pago del impuesto de sociedades) como años de vida útil se le suponga a la misma.



Figura V.1.1. Modelo para el análisis de una inversión  $I$ , de  $n$  años de duración.  
Fuente: ESTUDIO\_ nbsp\_ ECONÓMICO. Lillo Bravo I.

### 3. Fórmula de descuento y corrección por inflación

En el marco del análisis de una inversión, la comparación de corrientes dinerarias producidas en distintos instantes temporales sólo tiene sentido cuando todas ellas se convierten en corrientes equivalentes producidas en un mismo instante de tiempo.

Dado que una cantidad de dinero,  $C$ , invertida a una tasa anual,  $k$ , al cabo de  $j$  años se habrá convertido en una cantidad de dinero  $C(1 + k)^j$ , es evidente que, en este contexto, para convertir una corriente dineraria en otra de rentabilidad equivalente producida  $j$  años antes hay que dividir ésta por  $(1 + k)^j$ .

En el método de los flujos de caja descontados el instante que se elige para la comparación de corrientes dinerarias es el instante en el que se supone efectuada la inversión o desembolso inicial.

En la práctica, es muy probable que la inflación e incluso la tasa de descuento varíen de un año a otro. En este estudio se las supone constantes no sólo por simplicidad, sino porque es prácticamente imposible predecir con una mínima precisión los valores que podrían adoptar en los próximos años.

Por tanto, de acuerdo con la nomenclatura, los símbolos y las hipótesis establecidas, la fórmula a utilizar para trasladar un flujo caja dado al instante inicial de la inversión será:

$$\frac{F_j}{(1 + k)^j} \quad (1)$$

donde  $j$  es el año desde el inicio de la inversión al que corresponde el flujo de caja considerado y  $k$  es la tasa de descuento real, es decir, la tasa de descuento supuesto el valor adquisitivo del dinero constante.

La formula anterior es válida únicamente en ausencia de inflación. En condiciones de inflación es necesario corregirla para tener en cuenta ésta. Esta corrección se puede efectuar de dos formas:

- 1) Modificando la expresión anterior, para incorporar en ella explícitamente los efectos de la inflación.
- 2) Manteniendo la misma expresión formal, pero cambiando la tasa de descuento real,  $k$ , por la tasa de descuento nominal,  $k'$ .

En un contexto de inflación anual constante,  $g$ , como el que se está considerando, es evidente que para convertir una corriente dineraria en otra de poder adquisitivo equivalente producida  $j$  años antes hay que dividir ésta por  $(1 + g)^j$ .

Por ello, si optamos por la primera de las formas de corrección apuntadas, la fórmula de descuento a utilizar en condiciones de inflación será:

$$\frac{F_j}{(1+k)^j (1+g)^j} \quad (2)$$

donde  $j$  es el año desde el inicio de la inversión al que corresponde el flujo de caja considerado,  $k$  es la tasa de descuento real y  $g$  es la tasa de inflación.

Por su parte, si optamos por la segunda forma de corrección, la fórmula de descuento a utilizar en condiciones de inflación será:

$$\frac{F_j}{(1+k')^j} \quad (3)$$

donde  $j$  es el año desde el inicio de la inversión al que corresponde el flujo de caja considerado y  $k'$  es la tasa de descuento nominal, no la real.

Igualando las expresiones 2 y 3 se obtiene la relación existente entre la tasa de descuento real,  $k$ , la tasa de descuento nominal,  $k'$ , y la inflación,  $g$ :

A la hora de utilizar la fórmula de descuento en condiciones de inflación se han hecho las correcciones para asegurar que los pagos y los cobros que determinan la corriente dineraria o flujo de caja en un año dado están expresados en unidades monetarias de ese mismo año.

Para ello, los pagos asociados con costes que se incrementan a lo largo del tiempo por efecto de la inflación, se han corregido utilizando la tasa general de inflación como coeficiente corrector. Téngase presente que es posible que el incremento anual del coste de un

determinados servicio, no coincida con la inflación, pudiendo en general ser menor, igual o mayor que ésta.

## 4. Indicadores

### 1. Valor Actualizado Neto (VAN)

El VAN se define como, el valor actualizado de los flujos de caja generados durante la vida útil de la inversión. De acuerdo con esta definición, con la nomenclatura, los símbolos, las hipótesis y las fórmulas establecidas en los apartados anteriores, el VAN se calculará mediante cualquiera de las siguientes expresiones:

$$k = \frac{k' - g}{1 + g} \quad (4)$$

$$VAN = -I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+k)^j (1+g)^j} \quad (5)$$

$$VAN = -I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+k')^j} \quad (6)$$

, donde  $I$  es la inversión o desembolso inicial,  $F_j$ , el flujo de caja neto generado por la inversión en el año  $j$  (diferencia entre cobros y pagos),  $g$  la tasa de inflación,  $n$  el número de años de vida útil de la inversión y  $k$  y  $k'$  las tasa de descuento real y nominal, respectivamente.

El VAN proporciona una medida absoluta de la rentabilidad de una inversión en términos del valor total neto y actualizado (al instante 0 de su vida útil) de todas las corrientes dinerarias que genera.

El VAN es tanto método de valorización de inversiones, como de jerarquización de las mismas. Por un lado, en función de que el VAN de una inversión se mayor, igual, o menor que cero, el llevarla a cabo aumentará, dejará igual, o disminuirá, respectivamente, la riqueza de la empresa. Por otro, dadas dos inversiones cuyos VAN sean positivos y se hayan calculado utilizando idénticos procedimientos e hipótesis, será preferible realizar aquella cuyo VAN sea mayor.

## **2. Tasa Interna de Retorno (TIR).**

La TIR se define como el valor de la tasa de descuento para el cual el VAN es cero. De acuerdo con esta definición, con la nomenclatura, los símbolos, las hipótesis y fórmulas establecidas en los apartados anteriores, la TIR real,  $r$ , vendrá definida por la ecuación:

$$-I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+r)^j (1+g)^j} = 0 \quad (7)$$

Y la TIR nominal o aparente,  $r'$ , por:

$$-I + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+r')^j} = 0 \quad (8)$$

Como es obvio, la relación entre la TIR real y la nominal o aparente es idéntica a la existente entre las correspondientes tasas de descuento, de forma que:

$$r = \frac{r' - g}{1 + g} \quad (9)$$

Al igual que el VAN, la TIR es tanto un método de valorización de inversiones, como de jerarquización de las mismas. Por un lado, en función de que la TIR de una inversión sea mayor, igual, o menor que

la correspondiente tasa de descuento establecida, el llevarla a cabo aumentará, dejará igual, o disminuirá, respectivamente, la riqueza de la empresa. Por otro, dadas dos inversiones cuyas *TIR* sean mayores que la tasa de descuento establecida y éstas se hayan calculado utilizando idénticos procedimientos e hipótesis, será preferible realizar aquella cuya *TIR* sea mayor.

No obstante, debido a que requiere la resolución de una ecuación de grado  $n$ , el cálculo de la *TIR* es más complejo que el del *VAN* y está sujeto a un mayor número de posibles complicaciones, ya que puede haber casos en los que todas las soluciones sean imaginarias, o en los que varias soluciones sean reales y positivas y, por tanto, inconsistentes desde el punto de vista económico.

Solamente para aquellas inversiones denominadas simples, en las que los flujos netos de caja son positivos o nulos a lo largo de toda la vida de la inversión, se puede asegurar que existe una única tasa interna de retorno positiva.

$$\sum_{j=1}^m \frac{F_j}{(1+k)^j (1+g)^j} \geq I \quad (10)$$

Finalmente, hay que señalar, que aunque similares en cuanto a su capacidad para valorar y jerarquizar inversiones el *VAN* y la *TIR* no son siempre equivalentes. Puede haber casos en los que el *VAN* de una inversión sea superior al de otra y, sin embargo, su *TIR* sea inferior.

Mientras **el criterio de la *TIR* proporciona información sobre la rentabilidad relativa de la inversión, el del *VAN* proporciona información sobre su rentabilidad absoluta**. Se trata por tanto de parámetros distintos que miden cosas distintas, aunque relacionadas entre sí. De ahí que interese tener ambos en cuenta a la hora de analizar una inversión.

### **3. Plazo de Recuperación con Actualización (PRA)**

El *PRA* se define como el tiempo mínimo a partir del cual la suma de ingresos actualizados empieza a ser mayor o igual a la suma de gastos actualizados.

De acuerdo con esta definición, con la nomenclatura, los símbolos, las hipótesis y fórmulas establecidas en los apartados anteriores, el *PRA* vendrá definido por el menor valor de  $m$  para el que se satisface la desigualdad:

$$\sum_{j=1}^m \frac{F_j}{(1+k)^j (1+g)^j} \geq I \quad (10)$$

La anterior desigualdad sólo tiene sentido plantearla para  $m$  en el rango entre 1 y  $n$ , siendo  $n$  el número total de años de vida útil de la inversión. En dicho rango, las únicas inversiones para las que la desigualdad se verificará serán aquellas cuyo VAN sea mayor o igual que cero. En las inversiones con VAN negativo los cobros actualizados nunca llegan a superar a los correspondientes pagos, por lo que para ellas  $m$  se puede considerar infinito.

La jerarquización de inversiones en función de su *PRA*, da preferencia a aquellas inversiones que tienen un plazo de recuperación más corto, no necesariamente a las que tienen una mayor rentabilidad, por tanto, la jerarquización en función de este parámetro será tanto más pertinente cuanto más inestable sea la coyuntura política o económica y más sentido tenga primar la liquidez sobre la rentabilidad.

### **4. Coste Actualizado Promedio del kWh Eléctrico (CAP)**

El *CAP* se define como *el cociente entre el coste anual promedio*, que se determina calculando una corriente ficticia de pagos constantes

cuyo valor actualizado es igual a la corriente real de pagos previstos (sin incluir el pago del impuesto de sociedades) y la cantidad anual de energía eléctrica producida por la planta,  $E$ , expresada en kWh. De acuerdo con esta definición, con la nomenclatura, los símbolos, las hipótesis y fórmulas establecidas en los apartados anteriores, el  $CAP$  vendrá definido por la ecuación:

$$CAP = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P'_j}{(1+k)^j (1+g)^j}}{E \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+k)^j (1+g)^j}} \quad (11)$$

El  $CAP$  es el precio mínimo al que habría que remunerar la producción de electricidad (en unas condiciones de tasa de descuento y de inflación dadas) para que la inversión en la planta fotovoltaica no fuera onerosa, ya que es el valor de venta de la electricidad para el cual el VAN se hace cero.

### **5. Mínimo Índice de Cobertura de la Deuda (MICD)**

El Índice de Cobertura de la Deuda ( $ICD$ ) se define como el cociente entre los flujos operativos netos anuales (sin incluir el pago de la deuda) antes de impuestos y el pago anual de la deuda (capital + intereses). De acuerdo con esta definición, con la nomenclatura, los símbolos, las hipótesis y fórmulas establecidas en los apartados anteriores, el  $ICD$  para el año  $j$  vendrá definido por la ecuación:

$$ICD_j = \frac{F'_j + \text{Pago anual de la deuda (capital + intereses)}}{\text{Pago anual de la deuda (capital + intereses)}} \quad (12)$$

Para la estimación del pago anual de la deuda se propone considerar que la financiación externa se devuelve mediante el método de amortización francés, por ser éste uno de los más utilizados. **La principal característica de este método es que la cuantía nominal de los pagos permanece constante a lo largo de la vida de la deuda.** Lo que varía de un pago para otro son las cuantías que se dedican al pago de intereses y a la devolución del capital, pero de tal forma que su suma permanece siempre constante.

En el método de amortización francés La fórmula para el cálculo del pago anual de la deuda es:

$$\text{Pago anual de la deuda (capital + intereses)} = m \times \left( \frac{D \times \left( \frac{i}{m} \right)}{1 - \frac{1}{\left( 1 + \frac{i}{m} \right)^{n \times m}}} \right) \quad (13)$$

donde,  $D$ , es el importe total de la deuda a amortizar,  $i$ , su tasa de remuneración nominal y  $m$ , el número de pagos que se efectúa cada año .

El Mínimo Índice de Cobertura de la Deuda (MICD) se define como el mínimo de los valores que adopta el  $ICD$  a lo largo de la vida útil de una inversión.

Este valor proporciona información sobre la capacidad de la inversión para hacer frente por si sola al pago de la deuda y es por tanto una medida de las posibilidades de obtener financiación para llevarla a cabo.

## 5. Variables de entrada para los distintos casos a estudiar

La aplicación práctica del método de los flujos descontados y la obtención subsiguiente de los indicadores económicos tratados en el apartado anterior (*VAN, TIR, PRA, CAP, MICD*) requiere de la adopción de hipótesis sobre los valores de los siguientes parámetros económicos:

1. Coste total de la planta
2. Años de vida útil
3. Período de amortización contable
4. Período de amortización financiero
5. Porcentaje de deuda
6. Interés financiero o tasa remuneración de la deuda
7. Número de pagos anuales de la deuda,
8. Cuantía de la subvención<sup>116</sup>
9. Valor residual de la instalación
10. Tasa de descuento nominal
11. Tasa de inflación
12. Tipo de gravamen
13. Precio de venta de la electricidad
14. Producción eléctrica bruta anual
15. Pérdidas hasta el punto de venta
16. Costes de Operación y Mantenimiento

---

<sup>116</sup> O coste elegible y porcentaje de subvención sobre dicho coste

Estos parámetros económicos constituyen las variables del modelo económico de los flujos de caja descontados que se ha desarrollado. Cada conjunto de valores de estas variables representa un escenario económico distinto, que dará lugar, a su vez, a los correspondientes conjuntos de valores de los cinco indicadores económicos elegidos para evaluar la conveniencia de la inversión: VAN, TIR, PARA, CAP y MICD.

