

# **UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS DE OVIEDO**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS  
ÁREA DE PROYECTOS DE INGENIERÍA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

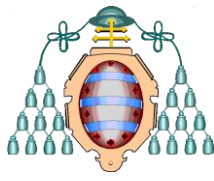
**Evaluación de indicadores esenciales para el análisis de  
Proyectos de Generación Energética.**

**AUTOR: Lucas Martínez Villoria**

**DIRECTORA: Sara María Andrés Vizán**

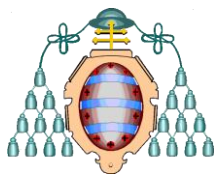
**JULIO, 2020**





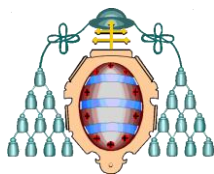
*A mi familia y amigos, por su ayuda y apoyo.*

*A mis profesores, por compartir sus conocimientos.*

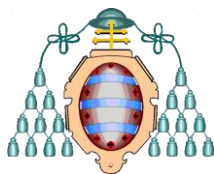


## ÍNDICE DE CONTENIDOS

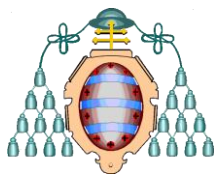
1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	CONTENIDO DEL INFORME.....	10
2.	CLASIFICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.....	11
2.1	INDICADORES ECONÓMICOS.....	11
2.2	INDICADORES AMBIENTALES.....	12
2.3	INDICADORES TECNOLÓGICOS.....	12
2.4	INDICADORES SOCIALES.....	12
3.	KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES ECONÓMICOS.....	13
3.1	COSTO MEDIO PONDERADO DE CAPITAL.....	13
3.1.1	Expresión matemática: CMPC.....	14
3.2	COSTE TOTAL CICLO DE VIDA.....	15
3.2.1	Expresión matemática: CTCV.....	15
3.3	VALOR ACTUAL NETO.....	17
3.3.1	Expresión matemática: VAN.....	17
3.4	RELACIÓN COSTE-BENEFICIO.....	19
3.4.1	Expresión matemática: RCB.....	19
3.5	PERIODO DE RECUPERACIÓN.....	21
3.5.1	Expresión matemática: PRI.....	21
3.6	TASA INTERNA DE RETORNO.....	23
3.6.1	Expresión matemática: TIR.....	23
3.7	COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD.....	25
3.7.1	Expresión matemática: LCOE.....	26
3.8	COSTO NIVELADO EVITADO DE ELECTRICIDAD.....	27
3.8.1	Expresión matemática: LACE.....	28
3.9	SUPUESTOS ADOPTADOS.....	29



4. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES AMBIENTALES. ....	30
4.1 SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE RECURSOS. ....	30
4.1.1 Expresión matemática: uso de recursos. ....	30
4.2 EMISIONES. ....	32
4.2.1 Expresión matemática: GWP. ....	32
4.3 USO DEL SUELO. ....	33
4.3.1 Expresión matemática: ESO. ....	34
4.4 SUPUESTOS ADOPTADOS. ....	35
5. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES TECNOLÓGICOS. ....	37
5.1 ENERGÍA PRIMARIA BRUTA. ....	37
5.1.1 Expresión matemática: EPB. ....	37
5.2 TIEMPO DE RETORNO ENERGÉTICO. ....	38
5.2.1 Expresión matemática: TRE. ....	38
5.3 RENDIMIENTO ENERGÉTICO. ....	39
5.3.1 Expresión matemática: RE. ....	39
5.4 RATIO ENERGÉTICO. ....	39
5.4.1 Expresión matemática: RATE. ....	40
5.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA: SISTEMA Y RETORNO. ....	41
5.5.1 Expresión matemática: EES y EER. ....	41
5.6 SUPUESTOS ADOPTADOS. ....	42
6. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES SOCIALES. ....	45
6.1 EMPLEO. ....	45
6.1.1 Expresión matemática: EG. ....	45
6.2 IMPACTO SANITARIO. ....	47
6.2.1 Expresión matemática: AD. ....	47

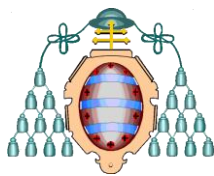


6.3	RIESGOS DE SEGURIDAD.....	48
6.3.1	Expresión matemática: IR.....	48
6.4	ACEPTACIÓN SOCIAL.....	48
6.4.1	Expresión matemática: aceptación social. ....	49
7.	MARCO GENERAL Y MATRIZ DE INDICADORES.....	51
8.	OBSERVACIONES.....	56
9.	CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN.....	61
9.1	PROYECTO A. INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTVOLTAICA.....	61
9.1.1	Configuración de la Planta. ....	64
9.1.2	Estimaciones de Producción.....	65
9.1.3	Resultados: KPIs aplicados. ....	66
9.1.4	Resultados: resumen del modelo establecido.....	68
9.2	PROYECTO B. INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN EÓLICA. 71	
9.2.1	Estimación de la Producción y Modelo aplicado.....	73
9.2.2	Resultados: KPIs aplicados. ....	76
9.2.3	Resultados: resumen del modelo establecido.....	79
10.	COMPARATIVA ENTRE CASOS.....	82
11.	CONCLUSIONES.....	86
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	88



## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Año Meteorológico Típico de la zona evaluada.....	63
Tabla 2. Configuración general de la planta fotovoltaica.....	64
Tabla 3. Producción anual prevista durante el ciclo de vida de la planta. ..	65
Tabla 4. Resultados obtenidos para los KPIs seleccionados. ....	66
Tabla 5. Parámetros vinculados a la aceptación de la planta. ....	68
Tabla 6. Valores del Aerogenerador AV12. ....	73
Tabla 7. Resultados obtenidos con WAsP.....	73
Tabla 8. Parámetros resumen e Ingresos del Parque Eólico. ....	74
Tabla 9. Características específicas de la instalación.....	75
Tabla 10. Características Financieras.....	75
Tabla 11. Resultados obtenidos para los KPIs seleccionados.....	76
Tabla 12. Parámetros vinculados a la aceptación de la planta.....	78



## 1. INTRODUCCIÓN.

Se entiende por desarrollo sostenible como toda innovación o mejora que cumple con las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones posteriores de cubrir las necesidades de su época. En una sociedad en constante cambio y desarrollo a todos los niveles, con transiciones constantes e innovaciones tecnológicas que renuevan constantemente sectores y economías, un suministro justo, constante y sostenible de energía se hace imprescindible.

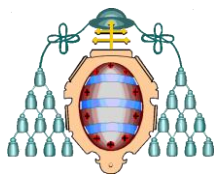
La energía es una fuente indispensable que permite la mejora como sociedad. Pero debe de ser entendida siempre como un medio para conseguir un fin, por lo que debe de estar regulada dentro de unos límites que tengan en cuenta aspectos medioambientales y socioeconómicos que marquen su buen desarrollo.

En la actualidad, gran parte de las fuentes energéticas aún están basadas en recursos limitados provenientes de combustibles no renovables, como los combustibles fósiles, lo que supone una insostenibilidad a futuro. Por ello, la relevancia de fuentes renovables que generen menos impactos se alza como clave para un desarrollo sostenible [1].

Contrariamente a lo comúnmente asumido, se debe tener presente que no existe producción energética que no genere ningún impacto en su entorno, por lo que el mix energético que permita ese desarrollo sostenible es imprescindible. Si se tiene en cuenta todo el ciclo de vida de la energía a analizar, desde la extracción del recurso al suministro de la energía generada, en algún momento se generan impactos en el entorno, de mayor o menor categoría.

Así, el uso de carbón en centrales térmicas o la quema de combustibles fósiles son dos de las principales fuentes de contaminación por emisiones. Por otro lado, la energía nuclear, a pesar de ser una energía limpia en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, genera otra serie de impactos y problemas relevantes en la gestión del residuo del combustible empleado. Finalmente, renovables desde el punto de vista del recurso energético empleado, como la biomasa, contribuye a problemas medioambientales como la pérdida de biodiversidad o desertificaciones en zonas de explotación activas.





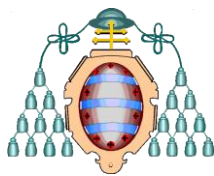
Se calcula que aproximadamente un tercio de toda la población mundial está a expensas de suministros energéticos precarios, por lo que, si se habla de alcanzar un desarrollo sostenible a escala mundial, este debe de ir ligado a un desarrollo económico estable, con una aplicación ponderada y ecuánime de recursos, tecnologías e incentivos acordes a la idiosincrasia local. Es necesario un conocimiento profundo de las políticas del momento que puedan influir en la sostenibilidad en proyectos energéticos. Es decir, programas, políticas y planes ambientales, energéticos y económicos repercuten directamente sobre las bases que establecen un marco idóneo de desarrollo sostenible. De otra manera, si no se dispone de opciones respaldadas y equilibradas en entornos políticos, financieros y legales la sostenibilidad pierde fuerza como concepto.

Conforme a las directrices establecidas dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados a la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 [2], se establece la necesidad de una transición sostenible de los Sistemas de Generación Energética. Es decir, se necesita de modificaciones y mejoras económicamente viables, alcanzables y que cumplan con los estándares energéticos actuales.

En la actualidad, se puede confirmar que el Sector de la Energía se encuentra en transición y evolución a muchos niveles: políticas medioambientales de descarbonización, transformación digital de la industria, regulaciones más severas, mejora de las tecnologías de aprovechamiento de recursos, desarrollos y avances en las tecnologías de generación existentes, etc [1].

Los múltiples marcos regulatorios establecidos, desde las políticas aprobadas en el Protocolo de Kioto hasta las directrices propuestas durante cumbres como la COP25 celebrada en Madrid, juegan un papel clave en la apuesta de los países por la evolución y transición en materia de Desarrollo Sostenible.

El consumo de combustibles fósiles continúa siendo una de las principales fuentes de contaminación, contribuyendo al notable aumento de la concentración de gases de efecto invernadero. Los recursos no renovables permanecen como la principal fuente energética a nivel europeo, por lo que medidas y criterios que establezcan mínimos en uso son de vital importancia.



Así, uno de los principales objetivos de desarrollo sostenible establece que con el horizonte de 2030 más del 30% de la energía total consumida tenga procedencia renovable [1, 2].

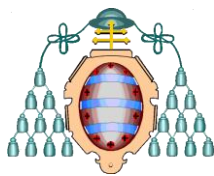
En términos globales, considerando que el sector energético engloba la generación de energía, consumo en viviendas, transporte y uso en industria, entre otros, el peso de este dentro de los valores totales de emisiones de gases de efecto invernadero asciende a un 80%.

El sector energético en generación eléctrica es, sin duda, una de las principales fuentes de emisiones. Traducido en datos, supone en torno al 35-40% de la energía primaria total y sobre el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Aún más del 50% de electricidad generada proviene de fuentes como el carbón o e gas, por lo que un desarrollo bajo en carbono pasa por ser uno de los objetivos principales [4].

Como se ha mencionado, teniendo como objetivo principal un desarrollo sostenible óptimo en términos medioambientales, las centrales con fuentes renovables y bajas en impacto de emisiones se alzan como personaje principal en la evolución del sector.

A la hora de evaluar las distintas centrales de generación explotadas, son múltiples los factores y características tecnológicas que influyen directamente sobre ellas: capacidad de generación, recurso energético aprovechado, tiempo de vida, nivel tecnológico de madurez o eficiencia de la instalación son algunas de las principales.

No solo las características tecnológicas son evaluables a la hora de comparar entre distintas energías. Una instalación de generación depende directamente de otras valoraciones, determinantes si hablamos de decisiones de viabilidad. Los impactos ambientales provocados, la necesidad de recursos, ubicación geográfica, implicaciones socioeconómicas o integración con la tecnología existente en el país son algunos de los parámetros a manejar en la toma de decisiones de los proyectos en energía [6,7].



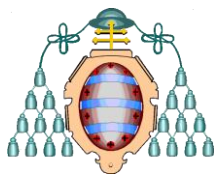
El desarrollo tecnológico necesario asociado a la sostenibilidad implica una inversión económica significativa. Si además se suma el incremento exponencial de la demanda energética, el resultado se traduce en un desembolso de entre 45 y 60 billones de euros para el año 2035. Por ello, adopta más relevancia si cabe el hecho de respaldar las decisiones de inversión en energía [40, 41].

En cuanto a proyectos de generación energética se refiere, se establecen indicadores con el fin de cuantificar medidas de competitividad entre sistemas, permitiendo así la comparativa entre distintas tecnologías y proyectos que soporten una toma de decisiones fiable.

A día de hoy, la sostenibilidad en energía es un campo en auge que cuenta con una amplia literatura en cuanto a estudios, publicaciones y metodologías de desarrollo empresarial que emplean KPI (Key Performance Indicators) para evaluar múltiples aspectos en los sistemas de generación energética.

En el entorno de competitividad actual, los indicadores dejan de ser meros dato para constituir una herramienta básica que permita respaldar las decisiones adoptadas. Tomados en grupo, ofrecen una visión global de interconexiones, ventajas y desventajas de cada posible proyecto o fuente al que se apliquen. Además, pueden relacionarse con comportamientos a largo plazo basados en decisiones actuales, reflejando también la evolución temporal de los progresos o involuciones generadas en la línea del desarrollo sostenible [50].

Un indicador por sí mismo no tiene significado como tal. Debe aplicarse un juicio experto sobre él que lo enmarque dentro de las condiciones a las que se vea sometido. Un mismo valor no significa lo mismo para una región que para otra, ya que las condiciones económicas, sociales o de desarrollo, entre muchas otras, lo particularizan para cada caso.



## 1.1 CONTENIDO DEL INFORME.

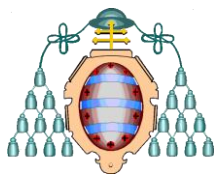
Los indicadores que se muestran y definen a lo largo del presente documento se desarrollan con el objetivo de ser presentados, para su estudio y análisis, como algunos de los KPI más empleados en energía. La intención no es otra que la de establecer un marco general de indicadores que definan y asienten una medida comparativa en distintos aspectos en el desarrollo de proyectos en generación energética.

Así, como objetivo principal, este estudio pretende revisar y analizar un grupo de KPI interdisciplinarios que engloben múltiples características comparativas relevantes en proyectos de generación energética. A pesar de la mayor o menor relevancia de según qué indicador aplicado a proyectos diferentes, se ha establecido una primera clasificación a partir de la cual se encajan los distintos KPI:

- Indicadores Económicos
- Indicadores Ambientales
- Indicadores Tecnológicos
- Indicadores Sociales

El documento desarrollado se estructura en dos partes diferenciadas. Por un lado, a lo largo de los epígrafes que se abarcan desde el punto 2 al 8, ambos incluidos, se desarrolla la base teórica que establece las definiciones y presenta los indicadores analizados.

Por otro lado, a lo largo del punto 9 y punto 10 se desarrolla el marco práctico, con la presentación de dos casos reales de aplicación que respaldan con cálculos la teórica expuesta a lo largo del estudio. Finalmente, en el punto 11, se exponen una serie de conclusiones generales relativas a la valoración total en la aplicación de indicadores de competitividad.



## **2. CLASIFICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.**

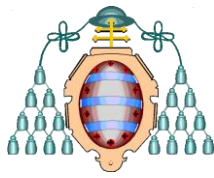
Como se ha mencionado con anterioridad, los indicadores o KPIs se definen como la evaluación o medida de un proyecto en términos específicos de objetivos y alcance a conseguir para considerar el éxito o fracaso de dicho proceso. Basados en aspectos medibles, respaldan el progreso del proyecto a analizar y respaldan la toma de decisiones sobre el mismo.

No solo se trata de valores meramente estadísticos. Los indicadores se basan en datos de mayor complejidad que aúnan aspectos y consideraciones que no siempre parecen relacionadas a simple vista, con sus límites y supuestos, pero que permiten relacionar entre sí tecnologías que, a pesar de pertenecer al mismo sector, a priori son completamente diferentes.

Este documento presenta KPIs que permiten la comparación entre proyectos de generación energética basados en distintos aprovechamientos de recursos y tecnologías. Así, en base a la bibliografía consultada, se clasifican en cuatro grandes grupos: económicos, ambientales, tecnológicos y sociales [3, 6, 8, 11, 17, 22].

### **2.1 INDICADORES ECONÓMICOS.**

El atractivo económico que tenga un proyecto es importante para el éxito del mismo y se marca como clave en la captación de inversores. Tanto si se expresa en valores absolutos como relativos, son varias las consideraciones que se asumen hablando de indicadores económicos. Además de las directamente relacionadas con términos energéticos propios de las diferentes tecnologías, la cantidad de recursos disponibles, tanto humanos como materiales, o el entorno geográfico socioeconómico en el que se enmarca el proyecto son otros de los puntos importantes a valorar.



## **2.2 INDICADORES AMBIENTALES.**

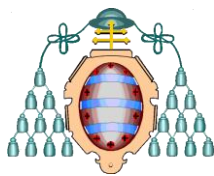
Aportan datos e información sobre el efecto del proyecto en el entorno del mismo: clima, medio en el que se encuadra, recursos naturales del entorno, etc. La idea general que define un indicador ambiental es cómo la ejecución del proyecto analizado impacta directamente sobre su entorno: ecosistema, emisiones, residuos o recursos, entre otros.

## **2.3 INDICADORES TECNOLÓGICOS.**

También se encuentran en la literatura bajo el nombre de indicadores físicos, aportan información técnica sobre el proyecto en términos energéticos. Se puede expresar en datos relativos, en los que se relacionan dos aspectos, como por ejemplo la tasa de relación entre la energía consumida y la producida. También suele expresarse directamente en términos absolutos, como la energía producida total.

## **2.4 INDICADORES SOCIALES.**

Estos KPIs están relacionados con el impacto del proyecto sobre el entorno humano del mismo. Es decir, cómo el proyecto afecta socialmente en las actividades humanas en las que influye. La denominada sostenibilidad social es uno de los pilares fundamentales en los que se basa un desarrollo sostenible, siendo así una de las líneas rojas que pueden bloquear el progreso de un proyecto.



### **3. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES ECONÓMICOS.**

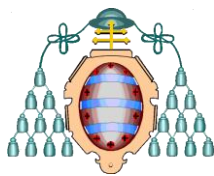
Los indicadores económicos proporcionan información en términos económicos que permiten la definición del entorno financiero del proyecto. Son útiles a la hora de desarrollar el escenario económico en el que se enmarca el proyecto y buscan aportar información desde puntos de aproximación diferentes. Estos indicadores engloban parámetros como ingresos, costes, tasas de descuento y producción energética. Son expresados de diversas formas: ratio, tasa o diferencia, entre otros [3, 9, 11, 15, 17, 26, 30, 46].

#### **3.1 COSTO MEDIO PONDERADO DE CAPITAL.**

Como indicador económico, el Costo Medio Ponderado de Capital (*CMPC*) se define como la tasa de descuento empleada para designar el valor actual de un flujo de caja futuro, ya sea en un proceso de valorización de empresas, activos o proyectos, como es el caso. En otras palabras, se puede definir como el costo a pagar por una empresa para recabar el capital necesario que se destina a la implementación del proyecto.

El *CMPC* es un concepto básico, de inicio, en materia de finanzas corporativas. Ofrece una visión económica aportando la tasa de rendimiento promedio que una empresa debe generar para satisfacer a sus inversores. En este caso, hablaríamos de los involucrados a nivel financiero en el proyecto.

Cabe mencionar, que hablando de los factores involucrados en el *CMPC* el flujo de caja utilizado para el proceso de valoración del proyecto es el flujo de caja libre. Es decir, se habla del flujo de caja que generaría el activo a valorar si no se tuviera en cuenta ni el gasto financiero ni el ahorro fiscal que genera dicho activo.



### 3.1.1 Expresión matemática: CMPC.

El *CMPC* queda definido, por un lado, por los riesgos financieros asociados con la inversión. Por otro lado, también lo caracteriza la fuente principal de la cual procede el capital invertido. A grandes rasgos, los proyectos aglutinan la inversión necesaria a través de dos fuentes: capital financiero y deuda. Por ello, los costes del proyecto varían y fluctúan, entre otros motivos, por los perfiles de financiación de riesgo y retorno que presentan estas fuentes.

Si se considera la empresa como cabeza visible y responsable del proyecto, el costo de capital se corresponde con el promedio de capital y deuda de su estructura financiera, teniendo en cuenta la ponderación según la importancia de cada fuente de financiación.

En el caso más simple, en una empresa existe sólo deuda ( $D$ ) y patrimonio ( $E$ ), el *CMPC* se define matemáticamente según la ecuación 1.

$$CMPC = K_e \cdot \frac{E}{E+D} + K_d(1 - T) \frac{D}{E+D} \quad (1)$$

*CMPC*  $\equiv$  Costo Medio Ponderado de Capital

$K_e$   $\equiv$  Tasa de Coste de Oportunidad

$E$   $\equiv$  Capital aportado

$D$   $\equiv$  Deuda financiera contraída

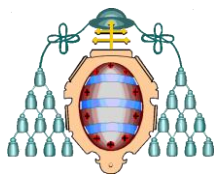
$K_d$   $\equiv$  Tasa de Coste de la Deuda

$T$   $\equiv$  Tasa de Impuestos Corporativos

$(1 - T)$   $\equiv$  Escudo Fiscal o Tax Shield

Un factor crucial que influye en la cuantía del retorno de la inversión, por parte del inversor, es el riesgo que presenta el proyecto. A menudo, se puede considerar que el capital procedente de fuentes externas es un caudal de financiación más barato, por lo que se tendería hacia la obtención de la mayor cantidad de deuda posible.





Sin embargo, a pesar de que esta asunción, dependiendo del punto de vista, no está lejos de la realidad, el costo que supone la deuda depende directamente del riesgo concreto de la inversión. Por ello, cuanto mayor sea este, menor será la disponibilidad de las fuentes de financiación externas, como bancos, estén dispuestas a aportar.

### **3.2 COSTE TOTAL CICLO DE VIDA.**

Se puede definir el Coste Total del Ciclo de Vida (*CTCV*) como el análisis que abarca todos los costes asignables a un proyecto desde que surge la concepción de la idea hasta el final de su vida útil, englobando a todos los agentes involucrados y asociados a las fases del proyecto.

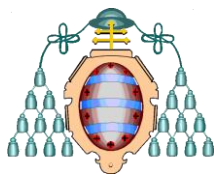
Los costes de un proyecto, producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida pueden ser fácilmente visibles como son los costes directos de la producción (costes de materias primas, energía y mano de obra) o pueden tener una menor visibilidad como son los costes indirectos para el fabricante (pérdida de productividad debida a los residuos) o los costes para la sociedad (problemas de salud por la contaminación).

El *CTCV* representa el gasto total durante toda la vida del proyecto y descuenta esta cantidad a un valor presente. Puede incluir impuestos si es necesario, y la ecuación debe ajustarse de acuerdo con el sistema impositivo relevante en operación.

#### **3.2.1 Expresión matemática: CTCV.**

El *CTCV* se emplea en el análisis y distinción de los distintos costes asociados al proyecto durante la vida útil del activo. El estudio de este indicador abarca desde el planteamiento inicial del proyecto hasta la fase de desmantelamiento.

El coste de ciclo de vida de un sistema en el caso de un proyecto energético es el coste visto desde la perspectiva de la empresa responsable del proyecto, ya que será esta la que financie todos los costes, desde los de desarrollo hasta los de eliminación una vez concluye la vida útil de la planta, empleando para ello la estructura financiera y de trabajo necesaria.



El *CTCV* es el coste acumulado del producto durante este ciclo calculado a través de un procedimiento de análisis económico que emplea datos técnico-financieros que evalúan la eficiencia económica del proyecto en el periodo establecido, comparando entre distintas alternativas de inversión.

Cabe mencionar que el *CTCV* es una de las herramientas más empleadas como evaluador de proyectos de inversión. Para realizar un cálculo exacto de este indicador, en el sentido estricto, se debería esperar a que el producto o servicio se diera por cerrado (finalizado su ciclo de vida). La realidad es que, al tratarse de un indicador que respalda previamente la decisión de llevar a cabo o no un proyecto, el cálculo del *CTCV* se realiza a través de estimaciones que anticipen los resultados y el desarrollo que se obtendría concluido el proyecto.

$$CTCV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t(\text{costes}) + B_t(\text{beneficios})}{(1+k)^t} \quad (2)$$

$$k = \frac{1+k_N}{1+k_I} - 1 \quad (3)$$

*CTCV*  $\equiv$  Coste Total Ciclo de Vida

$C_t$   $\equiv$  Coste del ciclo de vida admisible y estimado para el periodo  $t$

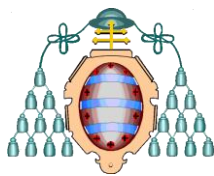
$B_t$   $\equiv$  Beneficio previsto y negociado para el periodo  $t$

$k$   $\equiv$  Tasa de descuento, en tanto por uno

$k_N$   $\equiv$  Tasa de desucento nominal

$k_I$   $\equiv$  Tasa de Inflación

Como indicador, el *CTCV* establece una evaluación de la medida total de la inversión necesaria para el proyecto. A pesar de ello, por sí mismo, no se considera un indicador suficiente para analizar con exactitud y profundidad el rendimiento de realizar determinada inversión ya que este indicador no tiene en cuenta los ingresos. Cabe destacar que la utilidad real de este indicador radica, principalmente, en situaciones de análisis financiero donde se afronte una decisión entre proyectos con beneficios fijos muy similares o prácticamente iguales, resaltando la opción más interesante entre las analizadas.



### 3.3 VALOR ACTUAL NETO.

El Valor Actual Neto (*VAN*) se considera un criterio a la hora de invertir basado, en términos generales, en la evaluación de costes e ingresos durante la vida útil de la inversión. Consiste en la actualización de cobros y pagos del proyecto para conocer el valor de la ganancia o pérdida derivada de la inversión.

Conocido también como Valor Presente Neto (*VPN*), este indicador trae todos los flujos de caja en el momento actual y los descuenta a un tipo de interés determinado, estimando así el valor presente del activo. Como concepto, el *VAN* expresa una medida de la rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos.

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión o incluso la comparativa entre proyectos similares tecnológicamente. Ya que calculando el *VAN* de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia.

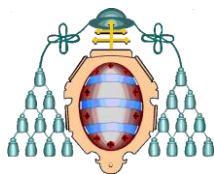
#### 3.3.1 Expresión matemática: *VAN*.

Este indicador se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Calculando el *VAN* de distintas inversiones se puede llegar a conocer con cuál de ellas se obtiene un mayor beneficio económico.

El *VAN* da lugar a diferentes tipos de decisiones diferentes. Por un lado, ver si las inversiones son realizables y, por otro lado, ver qué inversión es mejor que otra, en términos absolutos.

Los criterios a aplicar dentro de este indicador se agrupan en tres variantes de decisión:

- **$VAN > 0$ .** El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- **$VAN = 0$ .** El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- **$VAN < 0$ .** El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.



$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (4)$$

$VAN \equiv$  Valor Actual Neto

$F_t \equiv$  Flujo de caja de cada periodo  $t$

$I_0 \equiv$  Inversión realizada en el momento inicial  $t = 0$

$n \equiv$  Periodos de tiempo

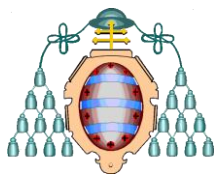
$k \equiv$  Tasa de desucento o tipo de interés de la inversión

El  $VAN$  es un indicador de referencia a la hora de evaluar proyectos de inversión. Presenta una metodología de cálculo relativamente sencilla de procesar y proporciona útiles predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa.

Además, tiene en cuenta los distintos periodos y vencimientos correspondientes con los flujos de caja, por lo que es fácil su particularización y adaptación a periodos de estudio concretos.

El  $VAN$  para un proyecto energético varía con el pronóstico del precio de la electricidad, influyendo a su vez en la entrada de efectivo en el futuro y en la tasa de descuento asumida, considerando el  $CMPC$  de la empresa inversora. El  $VAN$  se usa con frecuencia en la comparativa de proyectos excluyentes entre sí, siendo la decisión definitiva la relacionada con la inversión o proyecto que cuente con el  $VAN$  más alto.

A pesar de sus ventajas, presenta inconvenientes como la dificultad de especificar una tasa de descuento bajo hipótesis de reinversión de los flujos netos de caja (se supone implícitamente que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos inmediatamente a una tasa que coincide con el tipo de descuento).



### 3.4 RELACIÓN COSTE-BENEFICIO.

La Relación Coste-Beneficio (*RCB*) es un indicador económico que se puede considerar no solo financiero, ya que incluye un análisis del retorno de la inversión realizada, donde además del beneficio económico se incluyen beneficios sociales y ambientales.

El análisis *RCB* resulta indispensable en la toma de decisiones en torno al proyecto, determinando la viabilidad de este. No solo es un estudio a realizar de manera previa al arranque del proyecto. El análisis costo beneficio debe de tenerse en cuenta durante cada hito marcado, informando de la relación establecida de coste-beneficio en el punto de análisis de los costes y beneficios derivados directa o indirectamente del proyecto.

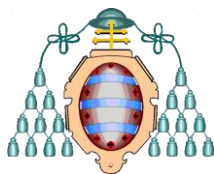
Es un análisis relevante y extendido en la actualidad. Por ejemplo, en metodologías ágiles como Scrum, los proyectos se dividen por bloques. Al finalizar cada uno de ellos, se comprueba que los objetivos se han cumplido y cuáles serán los del siguiente bloque. Para ello, se realiza un análisis de costo beneficio posterior y previo, contrastando resultados y justificando la decisión adoptada.

#### 3.4.1 Expresión matemática: *RCB*.

El indicador que relaciona los valores coste y beneficio *RCB* aporta una evaluación que establece si los beneficios del proyecto está por encima de los costes del mismo. Este indicador se aplica con frecuencia en proyectos que se asocian al ámbito público-social.

Como se ha mencionado anteriormente, se define como la relación entre los beneficios totales descontados del proyecto durante su vida útil y los costos totales descontados.

La *RCB* es conocida también como *Índice Neto de Rentabilidad*. Su valor se obtiene a partir del cociente entre el *Valor Actual de los Ingresos Totales Netos o Beneficios Netos (VAI)* y entre el *Valor Actual de los Costos de Inversión o Costos Totales (VAC)* del proyecto.



$$RCB = \frac{VAI}{VAC} \quad (5)$$

*RCB* ≡ *Relación Coste – Beneficio*

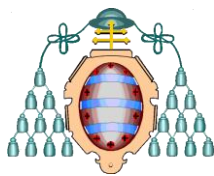
*VAI* ≡ *Beneficios Netos*

*VAC* ≡ *Costos Totales*

Una vez obtenidos los resultados, según el análisis de costo-beneficio, un proyecto será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad. Un análisis de este indicador que permita obtener unos resultados ajustados y concluyentes debe de emplear una herramienta de gestión de costes que tenga en cuenta las siguientes fases:

- Identificación de cobros y pagos a precio de mercado.
- Correcciones por transferencias, en donde tendremos en cuenta el carácter fiscal y, las subvenciones y transferencias públicas.
- Costes y beneficios externos que no se han tenido en cuenta. Por ejemplo, atribuir un valor monetario al impacto ambiental del proyecto.
- Determinación de los ‘precios sombra’, es decir, costes y beneficios sociales. Representa el costo oportunidad de producir o consumir un bien o producto.
- Tasa de descuento social, en la que se determina la rentabilidad mínima del proyecto que hace que el producto o servicio comience a generar beneficios sociales y económicos.
- Valoración final. Comparativa de alternativas o inversiones, homogeneizados los flujos de caja.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el análisis de costo beneficio es necesario en la mayoría de proyectos de origen público. Como referencia interesante a la hora de aplicar este tipo de análisis de indicadores económicos como *RCB*, la Comisión Europea publica periódicamente guías para realizar análisis adecuados en relación a políticas regionales particulares de cada territorio.



### 3.5 PERIODO DE RECUPERACIÓN.

El Periodo de Recuperación de la Inversión (*PRI*) es un indicador financiero que mide en qué plazo de tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Es decir, tenemos como resultado de su análisis el número de años necesario para alcanzar el equilibrio financiero y cubrir el desembolso realizado en la inversión inicial.

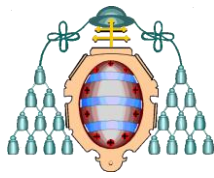
Un indicador semejante al *PRI* en su concepto y análisis es el Plazo de Recuperación Descontado (*PRD*). El *PRD* es un método de valoración de inversiones que determina el tiempo que una inversión tarda en recuperar el desembolso inicial, con los flujos de caja generados por la misma actualizados. Se incluye dentro de los métodos dinámicos ya que se actualizan los flujos de caja, por lo que se considera que una unidad monetaria tiene distinto valor ahora que en el futuro.

Este proceso de actualización es la diferencia con respecto del *PRI*, en el que se valoran del mismo modo las unidades económicas independientemente del momento en el que se generan.

#### 3.5.1 Expresión matemática: *PRI*.

El período de recuperación de la inversión (*PRI*) mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión. Revela con precisión la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial. Los indicadores *PRI* y *PRD* especifican el período de tiempo requerido para que los ingresos acumulados sean iguales a los costos acumulativos, es decir, el período de tiempo requerido para que una inversión alcance su punto de equilibrio.

El período de recuperación puede considerar el tiempo de recuperación simple como el tiempo de recuperación descontado. En proyectos de capital intensivo, como es el caso de los proyectos de aplicación de tecnología renovable, es estimable un periodo de recuperación descontado más alto que el valor para el retorno simple de la inversión. Esto se debe, principalmente, a que los ingresos son descontados del valor futuro mientras que el coste del capital experimenta un descuento menor o prácticamente nulo.



$$PRI = (n - 1) + \frac{(I_0 - F_{n-1})}{F_T} \quad (6)$$

$PRI \equiv$  Periodo de Recuperación de la Inversión

$n \equiv$  Año en el que se recupera la inversión

$I_0 \equiv$  Inversión Inicial

$F_{n-1} \equiv$  Flujo de Caja Efectivo Acumulado para el año  $(n - 1)$

$F_T \equiv$  Flujo de Caja Efectivo Presente del año  $n$

$$I_0 = \sum_{t=1}^{PRD} \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (7)$$

$PRD \equiv$  Periodo de Recuperación Descontado

$I_0 \equiv$  Inversión Inicial

$F_t \equiv$  Flujo de Caja en  $t$

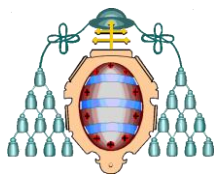
$k \equiv$  Tipo o Tasa de descuento

Como se ha definido en puntos anteriores del presente documento, el plazo de recuperación descontado ( $PRD$ ) es un sistema para evaluar inversiones con el que se obtiene el periodo de tiempo para el cual una inversión ha recuperado el desembolso inicial, actualizando los flujos de caja y teniendo en cuenta las uds. económicas independientemente del momento en el que se generen.

Tal como se puede comprobar en la ecuación 7, analíticamente se expresa como el sumatorio, desde el período "1" hasta  $PRD$ , de los flujos de caja actualizados hasta que la suma de los mismos iguale al desembolso inicial.

Para determinarlo es necesario realizar un procedimiento de prueba y error, complicando su análisis exacto cuando el periodo de recuperación no se corresponde con número entero de años.





Una interpretación válida del resultado que aporte el *PRD* es la basada en dos conceptos: efectabilidad y jerarquización.

- Efectuabilidad.  
Una inversión es efectuable si consigue recuperar el desembolso antes de que finalice la misma ( $PRD < n$ ).
- Jerarquización.  
Entre las inversiones efectuales son preferibles las que recuperen antes el desembolso inicial, es decir las que tengan un plazo de recuperación descontado más reducido.

### 3.6 TASA INTERNA DE RETORNO.

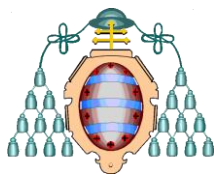
La Tasa Interna de Retorno (*TIR*) es un indicador habitual en presupuestación y estudio de capital que evalúa la rentabilidad de las inversiones potenciales. Se define como la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el valor actual neto (*VAN*). Otra definición habitual que caracteriza al *TIR* es el valor de la tasa de descuento que hace que el *VAN* sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

*TIR* da una medida relativa de la rentabilidad expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver, aunque es solventable a través de aproximaciones.

#### 3.6.1 Expresión matemática: *TIR*.

El *TIR* da una medida de la rentabilidad, proporcionando la tasa máxima de rendimiento que sea económicamente viable para un flujo de efectivo asumido. Basándose en su cálculo, se puede definir como la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un *VAN* igual a cero.



$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} \quad (8)$$

$VAN \equiv$  Valor Actual Neto

$TIR \equiv$  Tasa Interna de Retorno

$F_t \equiv$  Flujo de caja de cada periodo  $t$

$I_0 \equiv$  Inversión realizada en el momento inicial  $t = 0$

$n \equiv$  Periodos de tiempo

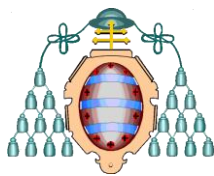
$k \equiv$  Tasa de descuento o tipo de interés de la inversión

Analizando los posibles resultados a obtener una vez calculado  $TIR$ , se puede establecer un criterio de selección de proyectos según sus valores. El criterio de selección será el mostrado a continuación, donde  $k$  es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del  $VAN$ .

- Si  $TIR > k$ , el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno obtenida es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si  $TIR = k$ , situación similar a la que se producía cuando el  $VAN$  era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva y no hay mejores alternativas.
- Si  $TIR < k$ , el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le exige a la inversión.

Los resultados obtenidos a través de  $TIR$  son útiles en la evaluación de proyectos de inversión, aunque es conveniente explicar una serie de matices que hace que este indicador cuente con inconvenientes a tener en cuenta a la hora de realizar el estudio económico sobre nuestro proyecto.

- Hipótesis de reinversión de los flujos intermedios de caja.  
Supone que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos a  $k$  y que los flujos netos de caja negativos son financiados a  $k$ .
- Inconsistencia de la  $TIR$   
No garantiza asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión y existen soluciones matemáticas que pueden no tener un sentido económico analizable.



### 3.7 COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD.

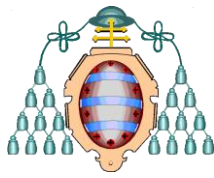
El Costo Nivelado de la Electricidad, conocido como Costo Normalizado o Costo Equivalente (*LCOE*, por sus siglas en inglés) es la valoración económica del costo del sistema de generación de electricidad. Esto incluye todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto: inversión inicial, operación y mantenimiento, costo de combustible, costo de capital, entre otros.

Es un indicador que se usa ampliamente para comparar específicamente las tecnologías de generación de electricidad en términos de su competitividad en costos. Proporciona el precio mínimo de la electricidad producida para lograr un rendimiento económico cero. Es decir, el valor mínimo económico del coste de electricidad que se produce para el cual el valor del *VAN* es igual a cero.

Se considera que el *LCOE* es el valor más cercano al costo real de la inversión, tanto en la producción de electricidad en monopolios de mercados como en escenarios de precios regulados en mercados competitivos.

Como aspecto negativo a resaltar, *LCOE* deja a un lado los costos de integración, puesto que estos no son pagados por el generador, sino más bien por el sistema. Los costos de integración son aquellos relacionados a la incorporación al sistema de recursos de generación adicionales. Un error común es que sólo las energías renovables (solar, eólica) tienen costos de integración porque son fuentes de generación variables y necesitan el respaldo de centrales que queman combustibles fósiles.

Sin embargo, a pesar de que la generación térmica, por ejemplo, es despachable, tienen una probabilidad de interrupción finita lo cual significa que el sistema debe cargar con reservas considerables para mantener la fiabilidad. El suministro de estos recursos y el costo de cumplir con los estándares de fiabilidad a menudo se incluyen implícitamente en la línea de base, pero esto da una imagen incompleta. Para tratar todos los recursos energéticos de una manera equiparable es necesario incorporar el costo de integrar centrales térmicas, así como los numerosos costos "ocultos" asociados con los recursos energéticos.



### 3.7.1 Expresión matemática: LCOE.

El costo nivelado de energía representa un costo constante por unidad de generación, que se calcula para comparar el costo de generación de diferentes tecnologías. El *LCOE* se calcula mediante la creación de un modelo específico para cada proyecto. Su estandarización se puede lograr mediante la aplicación de programación que permita un análisis pormenorizado del indicador

*LCOE* considera el *CTCV* en relación con la producción total de electricidad con descuento durante todo el tiempo de vida del activo (descontado al valor presente). El descuento de la producción física de electricidad no es plausible de un manera sencilla, pero es descontado del valor económico de la producción.

El *LCOE* asume que la tasa de descuento y la producción de electricidad son constantes durante la vida útil del proyecto. Matemáticamente, *LCOE* es igual al sumatorio de la inversión, el gasto y la depreciación, descontados a una tasa cuyo valor se vincula al horizonte económico. Todo ello, además, dividido entre el valor de la energía eléctrica generada descontada también a la misma tasa.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n (I_T + G_T \cdot (1 - i_R) - D_T \cdot i_R)}{\sum_{t=1}^n (E_T \cdot (1 - i_R))} \quad (9)$$

*LCOE*  $\equiv$  Costo Nivelado de la Electricidad

*I<sub>T</sub>*  $\equiv$  Inversión Total

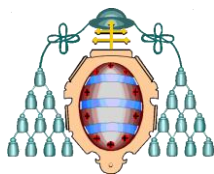
*G<sub>T</sub>*  $\equiv$  Gastos en O&M

*D*  $\equiv$  Depreciación

*E<sub>T</sub>*  $\equiv$  Energía Eléctrica Total Generada

*i<sub>R</sub>*  $\equiv$  Impuesto sobre la renta

*n*  $\equiv$  Horizonte económico



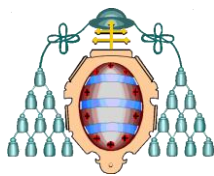
El costo nivelado de la energía *LCOE* se calcula para el periodo del horizonte económico, el cual estará en función de la vida útil de la instalación para producir electricidad. Se da en unidades monetarias (\$, €) por kW-hora o por MW-hora. A la hora de comparar entre distintos análisis *LCOE* se debe tener cautela, ya que el *LCOE* para una determinada fuente de energía es altamente dependiente de los supuestos y premisas asumidas, condiciones de financiación y tecnología instalada.

El modelo *LCOE* se utiliza para calcular el precio de la generación de la electricidad, buscando obtener un determinado retorno sobre el capital invertido. Dicho de otra manera, el *LCOE* es el precio en  $\$/MWh$  en el primer año de un proyecto que, al verse incrementado por la inflación a lo largo de la duración del proyecto, proporciona una Tasa Interna de Retorno (*TIR*), que no es más que la tasa de descuento utilizada en la evaluación económica, al aplicar el método de *Flujo de Caja Descontado*. De esta forma, el *LCOE* llega a ser representativo de un proceso competitivo de licitación de contratos de generación de electricidad.

### **3.8 COSTO NIVELADO EVITADO DE ELECTRICIDAD.**

El Costo Nivelado Evitado de Electricidad (*LACE*, por sus siglas en inglés) mide el costo de electricidad evitado por una nueva planta eléctrica, debido al desplazamiento que dicha infraestructura produce en el sistema. Se centra en las tecnologías de producción de electricidad y representa el valor de la planta en la red.

De esta manera, da idea del valor del sistema a implementar al contabilizar los costos en los que se incurriría para proporcionar la electricidad desplazada por un proyecto de nueva generación. El costo evitado proporciona una estimación de los ingresos potenciales de las ventas de electricidad generadas por el proyecto candidato.



### 3.8.1 Expresión matemática: LACE.

El Costo Nivelado Evitado de la Electricidad (*LACE*) se emplea como complemento que refuerza los resultados obtenidos a través de la aplicación de *LCOE*. Por un lado, *LCOE* aporta datos sobre los requisitos de ingresos mientras que, por otro lado, *LACE* establece su foco sobre los ingresos disponibles con los que cuenta el proyecto. *LACE* es un indicador que requiere múltiples datos a considerar y sobre el que influyen diversos factores, lo que da lugar a que su uso sea concreto y específico para las condiciones locales del proyecto. La ecuación 10 desarrollada a continuación trata de aportar estructura matemática al indicador para facilitar la definición del concepto.

$$LACE = \frac{\Delta S_p}{E_p} \quad (10)$$

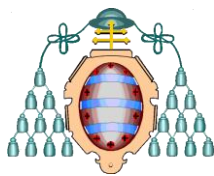
*LACE*  $\equiv$  Costo Nivelado Evitado de la Electricidad

$\Delta S_p$   $\equiv$  Variación media anual del coste

$E_p$   $\equiv$  Unidad de energía producida

Si  $\Delta S_p > 0$ , entonces se puede decir que el proyecto reemplaza el coste de generación ya existente y resulta beneficiosa su implementación. Si  $\Delta S_p = 0$ , se puede decir que el proyecto no ofrece ninguna ventaja económica u operativa. El cálculo de  $\Delta S_p$  implica una matemática complicada por los diversos aspectos económicos que envuelve. Se calcula como el cambio de costo promedio causado por el proyecto determinado con respecto al conjunto de escenarios de generación existentes en el área geográfica de estudio.

*LACE* analiza el valor real de la electricidad producida en el mix energético de la localización. Por ello, depende en gran medida de la región, la combinación de generación eléctrica existente, los costes asociados al combustible y la demanda.



En zonas geográficas con una combinación energética que emplea sistemas de generación con una eficiencia menor que la tecnología energética que se implantará con el proyecto y, además, un aprovechamiento de combustible con mayor coste económico asociado, el *LACE* obtenido bajo estas condiciones tendrá un valor considerablemente alto. Esto se debe a que el proyecto a implantar desplaza la generación ineficiente existente hasta el momento, por lo que el coste evitado será mayor.

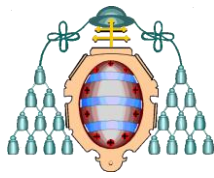
Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el *LACE* se analiza en combinación con *LCOE* y representa el coste evitado de las tecnologías consideradas y los necesarios para satisfacer la demanda sin implementar el proyecto. Bajo este razonamiento, se puede considerar que cuando el *LACE* está en valor neto por encima de *LCOE*, este es positivo y el proyecto será rentable en estas condiciones y bajo este análisis.

### **3.9 SUPUESTOS ADOPTADOS.**

En cuanto a supuestos adoptados o consideraciones y limitaciones observadas a lo largo de la definición de los indicadores económicos desarrollados con anterioridad, a lo largo de las siguientes líneas se puntualizan determinados aspectos a tener en cuenta a la hora de realizar un análisis basado en dichos indicadores.

Los indicadores económicos varían en gran medida en función de supuestos adoptados para cada caso particular que pueden resultar debatibles. Aspectos como la tasa de descuento a aplicar o el ciclo de vida considerado no son valores absolutos y cerrados, por lo que pueden generar discusión y entrar a valorar su exactitud o no. A menudo, en el estudio económico de proyectos energéticos, los supuestos asumidos se consideran constantes a lo largo del tiempo de vida del proyecto. Sin embargo, aunque asumir esa constante de los parámetros pueda asemejarse a la realidad, lo cierto es que datos como los costes de O&M o la tasa de descuento son valores variables con el tiempo.

Por ello, los análisis económicos previos aplicados a proyectos en generación deben de establecer claramente el marco que delimita los supuestos, el método y las estimaciones adoptadas para evitar incurrir en valoraciones equívocas.



## **4. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES AMBIENTALES.**

Se denominan Indicadores Ambientales a todas aquellas variables que definen el impacto de un proyecto sobre el entorno, una medida de los efectos y la influencia del proyecto energético sobre el ecosistema, la sociedad más inmediata, la disponibilidad de recursos y el medio natural. Los indicadores ambientales desarrollados a lo largo de los siguientes puntos, resultan parámetros necesarios y complementarios con otras clases de indicadores estudiados, estableciéndose como claves en la caracterización completa del proyecto [3, 5, 6, 12, 20, 28].

### **4.1 SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE RECURSOS.**

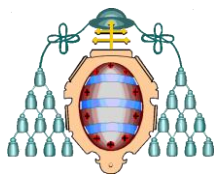
Este indicador, desde el punto de vista del concepto ‘sostenibilidad en el uso de recursos’, se considera un parámetro importante que abarca aspectos como el agotamiento de los recursos disponibles, la capacidad de aprovechamiento y reciclado tanto de recursos como de residuos y la propia gestión de los residuos generados.

Para un correcto análisis y un estudio eficaz de este indicador, resulta imprescindible valorar el proyecto a gran escala. Es decir, si la implementación de este en un marco global es viable o si, por el contrario, el proyecto creará futuros problemas en el suministro de recursos, por ejemplo, lo que implicaría serios problemas en el rendimiento general del proyecto al afectar a aspectos tecnológicos y económicos del proyecto.

#### **4.1.1 Expresión matemática: uso de recursos.**

La sostenibilidad en el uso de recursos como indicador se centra, principalmente, en el agotamiento derivado del suministro al sistema de generación. Así, en el caso de proyectos energéticos a partir de fuentes y recursos no renovables, por el mero empleo de combustibles fósiles como combustible, resultan tecnologías energéticas con un uso intensivo de recursos.



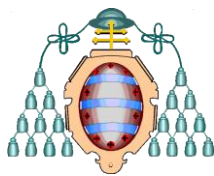


Análogamente a indicadores tecnológicos vinculados al uso de recursos, como *EES*, *EER* o *RATE*, e independientemente de la fuente de aporte de energía empleada en el proyecto, este indicador abarca también la parte de energía no renovable indirecta necesaria para construcción, montajes y mantenimientos, entre otros procesos.

Además del propio recurso energético y la energía indirecta necesaria para llevar a cabo el proyecto, según qué sistema energético se aplique, el alto grado de desarrollo del sistema puede requerir de materiales y materias primas de carácter crítico (Ej. Tierras raras). Este tipo de materiales, necesarios en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos y en turbinas eólicas, se asocian a aspectos que pueden resultar trascendentales en el desarrollo de proyecto: implicaciones ambientales en uso y en prospección del recurso y riesgo en la continuidad del suministro.

Como se ha mencionado anteriormente, el encaje del proyecto a gran escala resulta imprescindible para conocer de antemano los riesgos y ventajas de implementarlo. El agotamiento de los comentados elementos críticos supone una inflexión en el análisis del uso de recursos. La desaparición progresiva de estos supone un mayor costo energético y económico en su extracción, empeorando los valores de indicadores de competitividad como el *RATE*, clave en la toma de decisiones de un proyecto energético.

Por otro lado, la capacidad de recuperar materiales y su reutilización o reaprovechamiento es importante como indicador de reciclabilidad del sistema. El reciclaje es un factor clave que garantiza el desarrollo sostenible de los proyectos. A pesar de ello, a día de hoy, el tanto por ciento de materiales reciclables en las plantas de generación resulta aún escaso, debido principalmente a la dificultad por la composición con múltiples elementos. La complejidad del proceso de reciclaje completo en términos de costo energético hace del reciclaje de elementos en sistemas de generación un área por recorrer en aras de mejorar notablemente la sostenibilidad del proyecto.



Finalmente, la generación de residuos derivada de toda actividad vinculada al proyecto de generación, como por ejemplo su fase de desmantelamiento, es un parámetro a considerar en el análisis de competitividad.

Existen metodologías de aplicación para la evaluación de estos residuos que establecen un enfoque eficaz para el análisis de competitividad de la gestión de residuos de operación y desmantelamiento de tecnologías de generación energética.

Como conclusión general, comprobaron cómo la generación de importantes residuos, como los producidos en centrales térmicas de carbón o nucleares, requieren de medidas de contención más profundas y exhaustivas, lo que impacta directamente a la evaluación de la tecnología, tanto en indicadores ambientales como en términos de costo total.

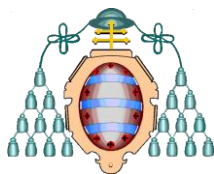
## **4.2 EMISIONES.**

Uno de los indicadores ambientales más importantes a la hora de evaluar la viabilidad o no de un proyecto son las emisiones de partículas y gases de efecto invernadero que genera el proyecto. El análisis metódico de esta variable variará en función de los límites establecidos para el sistema. Es decir, dependiendo del alcance del estudio, se tendrán en cuenta en mayor medida o no las emisiones indirectas derivadas de puntos como, por ejemplo, el suministro de materiales y recursos del proyecto.

Las emisiones de gases y partículas tienen un impacto notable tanto en el medio como en la sociedad, afectando al clima y la salud tanto de manera directa como indirecta.

### **4.2.1 Expresión matemática: GWP.**

El análisis de emisiones y partículas se supedita a los límites establecidos para el estudio. A pesar de ello, para un relevante uso de este indicador, se requiere de un análisis de emisiones global y general, considerando el ciclo de vida completo desde la fabricación al desmantelamiento.



Análogamente al concepto general aplicado para los indicadores tecnológicos, las emisiones se referencian a un valor para la energía neta. Como ya se mencionó en epígrafes anteriores, el  $RATE_{CO_2}$  representa el valor de gases de efecto invernadero y partículas emitidas por energía producida (unidades en Whora neto o Julios).

En el caso de la emisión de gases, el valor se expresa en medida de gramos de  $CO_2$  equivalente ( $g CO_2 eq$ ), considerando el potencial de calentamiento global (Índice  $GWP$ ) de los gases emitidos, como son  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $NO_2$ , principalmente.

$GWP$  representa el efecto de diferentes gases de efecto invernadero en el cambio climático, siendo base de referencia el  $GWP$  de  $CO_2$  y relacionados a través de la siguiente ecuación.

$$GWP = \sum GWP_i \cdot E_i \quad (11)$$

$$GWP \equiv \text{Potencial Calentamiento Global} \left[ \frac{gCO_2 eq}{Wh} \right]$$

$$GWP_i \equiv \text{Potencial Calentamiento Global para gas } i$$

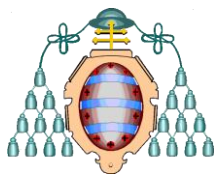
$$E_i \equiv \text{Emisiones generadas del gas } i$$

#### 4.3 USO DEL SUELO.

En base a la bibliografía consultada, la intensidad del uso del entorno es medible a partir de la cantidad de suelo utilizado (medida de área del ocupada por el proyecto) en relación a la cuantía de la energía generada.

Actualmente, con el desarrollo económico y como sociedad creciendo a un ritmo exponencial, la gestión del uso del entorno resulta un aspecto crítico. Es clave la correcta utilización del medio y la compaginación ecuaníme de la tierra destinada a producción alimentaria, a energía o a industria, entre otros usos.

No solo es valorable el tanto por ciento de espacio destinado a una aplicación concreta, sino que también se debe considerar el cambio en el uso de este espacio o la degradación y la naturaleza de dicho entorno.



Una vez más, las facilidades o dificultades que presenta el ecosistema en el que se enmarca la tecnología aplicada y los impactos de la implementación del proyecto son parámetros importantes a tener en cuenta para garantizar un análisis completo, vinculante y sostenible de un proyecto energético.

#### 4.3.1 Expresión matemática: ESO.

Un estudio habitual de cambios y necesidades en el uso del suelo como indicador considera, además del área total de tierra ocupado por la planta proyectada, los movimientos y usos de tierra necesarios para la extracción u obtención del combustible.

Es decir, es habitual entre la literatura consultada la consideración de usos directos e indirectos que impactan sobre la huella que el proyecto deja sobre el uso del suelo. Con carácter general, los principales análisis realizados sobre este indicador muestran como los sistemas de energía solar, hidroeléctrica, biomasa y carbón son las fuentes con un uso más intensivo del suelo.

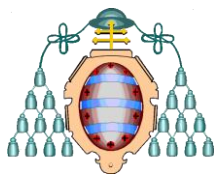
$$ESO = A_{OCUPADA} \cdot t_{USO} \quad (12)$$

$$ESO \equiv \text{Espacio de Suelo Ocupado} \left[ \frac{m^2 \cdot \text{año}}{Wh} \right]$$

$$A_{OCUPADA} \equiv \text{Área de suelo ocupada} \left[ \frac{m^2}{Wh} \right]$$

$$t_{USO} \equiv \text{Tiempo de uso} [\text{años}]$$

Donde  $A_{OCUPADA}$  es el área total de tierra en uso referenciada a la unidad de energía neta producida por el sistema y  $t_{uso}$  el periodo de tiempo que el proyecto ocupa el suelo. Garantizando un análisis completo del ecosistema y los impactos vinculados a todas las fases del proyecto, como se ha mencionado, el alcance de la evaluación del área en uso debe considerar factores vinculados a la degradación del entorno y a la naturaleza o fin natural del espacio usado.



#### 4.4 SUPUESTOS ADOPTADOS.

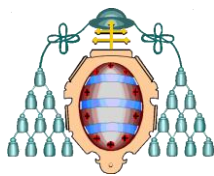
Los indicadores ambientales resultan determinantes en los estudios sobre proyectos energéticos para un desarrollo sostenible. Aportan datos indispensables que se presentan como un punto clave a la hora de la implementación de un proyecto. Es necesario su análisis a una escala más global que particular.

Es decir, su enfoque debe de orientarse desde un punto de vista general y no solo acotado a los límites estrictos de nuestro sistema. Ampliar el alcance de impactos a un entorno nacional, como puede ser el enfoque del proyecto dentro de toda la red eléctrica, es más objetivo y realista que limitarlo a las fronteras de la planta de generación.

Por un lado, el uso del suelo (*ESO*) varía directamente con las condiciones y la calidad del suelo disponible o necesario, así como con posibles problemas de accesibilidad a los suelos requeridos. Como se ha mencionado, los límites de este indicador no se ajustan exclusivamente a las fronteras físicas de la instalación, debe de tenerse en cuenta tanto el entorno más inmediato como el suelo afectado por el aprovechamiento del combustible.

Por otro lado, el estudio preciso de la estimación de los recursos necesarios no resulta un análisis sencillo y rápido, ya que depende de factores tecnológicos, de sociedad e, incluso, políticos.

Asimismo, el potencial de calentamiento global (*GWP*) debe aplicarse con unas limitaciones claras y concisas, ya que debe de ser perfectamente definido para un correcto razonamiento en torno a sus datos. En el caso de tecnologías de bajo contenido en carbono, por ejemplo, resulta clara la incidencia de la no posibilidad de almacenamiento de esta producción energética, por lo que el efecto de cambios abruptos sobre la red puede tenerse en cuenta, así como la gestión llevada a cabo para mantener la compensación en el mix energético de producción.



Otros sistemas de energía, como la generación convencional a partir de recursos no renovables como carbón o gas, con impactos mucho más relevantes en cuanto a emisiones se refiere pueden empezar, a priori, con gran desventaja la carrera por el desarrollo sostenible.

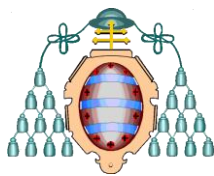
Su análisis debe de ser completo y exhaustivo, considerando su encaje dentro de la combinación con tecnologías con bajas en huella de carbono, analizando junto con el impacto directo del proyecto la trascendencia del conjunto de sistemas energéticos que nutren la red.

Finalmente, las valoraciones medioambientales a plantear no deben limitarse a los indicadores definidos con anterioridad. A pesar de haber resaltado los tres más importantes, con una clara intención de abarcar el general de la mayoría de los proyectos, existen parámetros específicos que pueden variar con la tecnología o la propia ubicación del proyecto, como puede ser la contaminación acústica de la planta en un entorno natural.

Por ello, se requiere habitualmente de una evaluación de impacto ambiental que complete la documentación del proyecto y que recoja de manera eficaz y concisa los impactos medioambientales críticos y su mitigación.

Al igual que ocurre con los KPIs tecnológicos, los indicadores ambientales resultan necesarios, incluso imprescindibles, para la evaluación profunda del desarrollo del sistema. Del mismo modo, aun siendo indispensables, no son suficientes para definir la competitividad global del proyecto.

Es por ello que los criterios sociales y económicos a desarrollar en los siguientes epígrafes son también de obligado cumplimiento para completar un correcto análisis.



## 5. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES TECNOLÓGICOS.

Los indicadores tecnológicos o físicos dimensionan cuánta energía es necesaria a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Se considera como la cantidad de energía aplicada a las fases de fabricación, operación y desmantelamiento respecto a la energía producida [6, 8, 10, 14, 17, 21, 22, 24, 40, 45].

### 5.1 ENERGÍA PRIMARIA BRUTA.

Las necesidades brutas de energía primaria que requiere el proyecto se definen como la cantidad total de energía empleada en la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto. Es interesante su uso en conjunto con la energía total producida y generada por el proyecto.

#### 5.1.1 Expresión matemática: EPB.

Como se ha definido en el punto 3.1.1, este indicador expresa la necesidad de energía primaria durante la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto con el fin de proporcionar un servicio o producto de interés. Esta medida abarca también todo aquel recurso natural empleado con el cual no se ha realizado ninguna conversión de carácter externo.

$$EPB = EP_{PRODUCCIÓN} + EP_{OPERACIÓN} + EP_{TRANSPORTE} + EP_{DESMANTELAMIENTO} \quad (13)$$

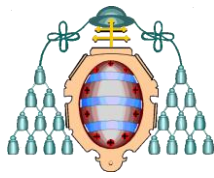
$$EPB \equiv \text{Energía Primaria Bruta [J]}$$

$$EP_{OPERACIÓN} \equiv \text{Energía Primaria Operación [J]}$$

$$EP_{PRODUCCIÓN} \equiv \text{Energía Primaria Producción [J]}$$

$$EP_{TRANSPORTE} \equiv \text{Energía Primaria Transporte [J]}$$

$$EP_{DESMANTELAMIENTO} \equiv \text{Energía Primaria Desmantelamiento [J]}$$



Donde, el  $EPB$  de un proyecto que genera la entrega de producto o servicio es la suma de la energía primaria requerida para producir los diferentes componentes necesarios para crear un único producto o servicio ( $EP_{PRODUCCIÓN}$ ), la energía primaria directa necesaria para la operación, como combustibles, y los suministros indirectos de energía directa ( $EP_{OPERACIÓN}$ ), la energía de desmantelamiento ( $EP_{DESMANTELAMIENTO}$ ) y la energía en transporte ( $EP_{TRANSPORTE}$ ).

## 5.2 TIEMPO DE RETORNO ENERGÉTICO.

El Retorno Energético o Periodo de Recuperación de Energía, se define como periodo de tiempo tras el que el proyecto produce igual cantidad de energía que la empleada en su implementación, ejecución y desmantelamiento.

### 5.2.1 Expresión matemática: TRE.

Se define como la expresión temporal del periodo que un proyecto necesita estar en operación para generar la cantidad equivalente de energía que es necesaria para activar y llevar a cabo dicho proyecto, lo cual implica a las fases de construcción, operación y mantenimiento, fabricación y desmantelamiento.

$$TRE = \frac{E_{NECESARIA}}{PAE_{NETA}} \quad (14)$$

$TRE \equiv$  Tiempo de Retorno Energético [años]

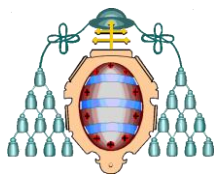
$E_{NECESARIA} \equiv$  Energía requerida [J]

$PAE_{NETA} \equiv$  Producción neta anual de energía [J/año]

Donde,  $E_{NECESARIA}$  es la energía, tanto directa como indirecta, necesaria y  $PAE_{NETA}$  es la producción neta anual de energía generada por el proyecto.

Para su interpretación, este resultado debe completarse con la duración total de la vida útil del proyecto. Así, sin contar con los costos derivados de la operación y el mantenimiento, se interpreta durante qué periodo de tiempo el proyecto debe de generar energía de manera gratuita hasta igualarse la energía producida con la requerida para la puesta en marcha del proyecto.





### 5.3 RENDIMIENTO ENERGÉTICO.

El Rendimiento Energético, en términos netos, se define como la energía bruta producida menos la energía requerida para obtener el recurso aprovechado. Se trata de un valor neto de la cantidad total de energía útil producida por el proyecto.

#### 5.3.1 Expresión matemática: RE.

El Rendimiento Energético, en términos de energía neta, es un valor de la energía útil producida por el proyecto que se obtiene a partir de la diferencia entre la energía empleada en el aprovechamiento del recurso energético usado ( $E_{RECURSO}$ ) y la energía generada a partir de ese recurso durante su vida útil ( $E_{GENERADA}$ ).

$$RE = E_{GENERADA} - E_{RECURSO} \quad (15)$$

$$RE \equiv \text{Rendimiento Energético Neto [J]}$$

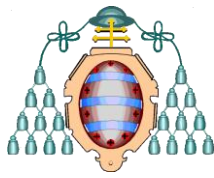
$$E_{GENERADA} \equiv \text{Energía Generada [J]}$$

$$E_{RECURSO} \equiv \text{Energía Recurso [J]}$$

Donde,  $E_{GENERADA}$  es la energía producida que retorna al conjunto de la sociedad y  $E_{RECURSO}$  es la energía empleada tanto directa como indirectamente en producir  $E_{GENERADA}$ . Esta  $E_{RECURSO}$  viene acotada por los límites del análisis, dependiendo de este a la hora de establecer la profundidad del estudio en cuanto a la extracción, transformación y transporte del recurso energético empleado.

### 5.4 RATIO ENERGÉTICO.

Se define como la relación del rendimiento relativo de un proyecto para producir energía útil. Es decir, se trata de un ratio que evalúa la energía producida en comparación con la energía necesaria.



#### 5.4.1 Expresión matemática: RATE.

Semejante al rendimiento energético, se define el ratio energético como la cantidad de energía obtenida ( $E_{GENERADA}$ ) respecto a la cantidad de energía invertida en dicho proceso de generación ( $E_{RECURSO}$ ). Es considerado como uno de los principales indicadores de rendimiento energético junto al ya definido Tiempo de Retorno Energético.

$$RATE = \frac{E_{GENERADA}}{E_{RECURSO}} \quad (16)$$

$RATE \equiv$  Ratio Energético [ud.]

$E_{GENERADA} \equiv$  Energía Generada [J]

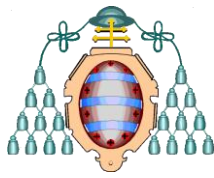
$E_{RECURSO} \equiv$  Energía Recurso [J]

Al igual que se ha mencionado con el Rendimiento Energético, se consideran diferencias en cuanto a posibles definiciones de  $RATE$  según los límites que se apliquen en el análisis del sistema.

Así, se habla de  $RATE_{ESTÁNDAR}$  cuando se considera que la energía generada por el sistema tiene el mismo valor que la empleada en la obtención y aprovechamiento del recurso.

En cambio, se considera que el valor está en punto de uso ( $RATE_{USO}$ ) cuando, además de lo considerado para el  $RATE_{ESTÁNDAR}$ , a la energía empleada en la obtención del recurso se le suma la necesaria para la transformación, mejora y transporte hasta el punto de aprovechamiento de dicho recurso.

Finalmente, como límite más amplio a considerar para este indicador,  $RATE_{AMPLIADO}$ , además de lo considerado para  $RATE_{ESTÁNDAR}$  y para  $RATE_{USO}$ , se añade el valor de la energía requerida en la infraestructura necesaria que permite la prestación del servicio energético final.



## 5.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA: SISTEMA Y RETORNO.

La medida de eficiencia energética de un proyecto es un indicador que cuantifica la efectividad y eficacia de la explotación de los recursos del proyecto. Se trata de una medida de la cantidad de energía primaria que requiere el sistema.

Al igual que la eficiencia energética, la Eficiencia Energética de Retorno cuantifica la eficacia en el uso de recursos del proyecto. Este indicador se centra en mostrar el rendimiento derivado del aporte energético en recursos no renovables.

### 5.5.1 Expresión matemática: EES y EER.

La Eficiencia Energética es valorable a través de dos indicadores: Eficiencia Energética del Sistema (*EES*) y Eficiencia Energética de Retorno (*EER*). Como indicador, la *EER* distingue entre fuentes renovables y no renovables y cuantifica la eficacia de las tecnologías aplicadas en el uso de la materia prima no renovable.

Además, la comparación entre ambos indicadores muestra también la conjunción de dos aspectos distintos, energía de retorno y sostenibilidad. Evaluar la eficiencia en el empleo de un recurso renovable con *EES* es un punto menos crítico, pero puede ser útil dependiendo de la disponibilidad de esta fuente de energía.

$$EES = \frac{E_{GENERADA}}{(E_{RECURSO} + E_{MP})_{TOTAL}} \quad (17)$$

$$EER = \frac{E_{GENERADA}}{(E_{RECURSO} + E_{MP})_{NO RENOVABLE}} \quad (18)$$

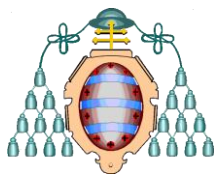
*EES*  $\equiv$  Eficiencia Energética del Sistema [ud.]

*EER*  $\equiv$  Eficiencia Energética de Retorno [ud.]

*E<sub>GENERADA</sub>*  $\equiv$  Energía Generada [J]

*E<sub>RECURSO</sub>*  $\equiv$  Energía Recurso [J]

*E<sub>MP</sub>*  $\equiv$  Energía Materia Prima [J]



Donde,  $E_{GENERADA}$  es la energía producida que retorna al conjunto de la sociedad y  $E_{RECURSO}$  es la energía empleada tanto directa como indirectamente en producir  $E_{GENERADA}$ . Por otro lado,  $E_{MP}$  es el contenido energético de la materia prima. Así, como puede comprobarse a través de las ecuaciones 5 y 6, los subíndices total y no renovable acotan los límites de cada uno de los indicadores.

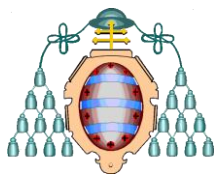
Asimismo, se ha comprobado que, además del uso de  $EES$  y  $EER$  como indicadores, la utilización del inverso de estos,  $\frac{1}{EES}$  y  $\frac{1}{EER}$ , resulta interesante desde el punto de vista analítico. Por un lado, el inverso de  $EES$  es indicativo de la cantidad total de recursos energéticos por cada unidad de energía retornada a la sociedad. Por otro lado, el inverso de  $EER$  representa cómo de fuerte es el grado de agotamiento de los recursos no renovables.

## 5.6 SUPUESTOS ADOPTADOS.

En primer lugar, el análisis derivado del estudio del Tiempo de Retorno Energético  $TRE$  asume que la producción total de energía dura un año, o a lo largo de todo el periodo de vida del proyecto, es constante. Por lo tanto, no tiene en cuenta el deterioro y consiguiente degradación del rendimiento de los sistemas empleados a lo largo de la vida útil de sistema, incurriendo así en una sobreestimación de la energía generada por el proyecto.

Por su lado, el  $RATE$  aporta una medida de la calidad del recurso a través del cálculo del ratio que relaciona la energía invertida en la fuente con la energía devuelta en su ciclo de vida. En este caso, y por pura definición del indicador, no evalúa la eficacia en la explotación del recurso. Sin embargo, como se ha visto con  $EES$  y  $EER$ , en sistemas que exploten recursos no renovables puede llegar a ser interesante su análisis.

Siguiendo con la comparativa  $RATE-EES-EER$ , los indicadores de eficiencia completan el análisis del  $RATE$  al distinguir entre proyectos renovables y no renovables, pero su análisis final resulta más complicado al obtener valores que no son directamente comparables por combinar aspectos diferentes (energía de retorno y sostenibilidad).

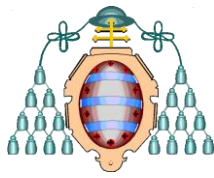


Por ello, la ventaja del *RATE* se encuentra en la interpretación directa que se le puede dar. Si tenemos, por ejemplo, un ratio de 1:1, significa que se invierte tanta energía en el sistema como la generada. De esta manera, ampliando sus límites y estableciendo la definición extendida del *RATE*, se cuenta con un indicador que, además de su interpretación directa, abarca y valora la aportación renovable y su eficacia.

Existe literatura que no solo incluye entre el alcance del *RATE* los aspectos ya comentados, sino que aplica un indicador derivado de este que analiza la función del sistema con el entorno, incluyendo para ello términos de emisiones de carbono. El denominado como  $RATE_{CO_2}$  se define como la relación entre la energía neta producida y el factor de emisiones de carbono, dando como resultado la energía producida por gramo equivalente de  $CO_2$  emitido. Como idea principal, el  $RATE_{CO_2}$  busca resaltar el total de  $CO_2$  equivalente emitido para el porcentaje de energía neta real producido, por lo que resulta más interesante su aplicación como indicador de mejora del factor de emisión de gases de efecto invernadero.

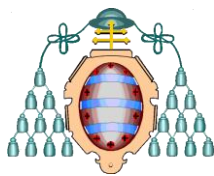
Con carácter general, en lo que respecta a proyectos de generación energética, los supuestos y limitaciones consideradas para el cálculo de cada indicador a aplicar resultan relevantes de cara a considerar la validez o no de un resultado. Por ejemplo, los indicadores desarrollados a lo largo del punto 3 no tienen en cuenta términos de flexibilidad de la instalación para afrontar picos de demanda. Lo cual, dependiendo del objetivo de cada estudio, podría ser un factor relevante en la toma de decisiones en torno al proyecto.

El indicador *RATE*, como tal, permite la comparativa entre sistemas con los mismos límites que prestan el mismo servicio. Tecnologías que generan electricidad sin que la red pueda aprovecharla directamente están obligadas a su almacenamiento, entre otras opciones. Esto significa que podríamos estar hablando de un nuevo *RATE*, por ejemplo, que abarque este supuesto. Bajo el mismo razonamiento, se podrían ampliar aún más los límites y comparar a gran escala las tecnologías usadas y estudiar el impacto a nivel global que tienen sobre el servicio aportado desde un punto de vista de rendimiento.



Como puede comprobarse, la casuística en el uso de indicadores es múltiple y tan amplia como los límites del estudio lo requieran. Aun así, a pesar de la versatilidad y amplitud de los indicadores tecnológicos presentados, por si mismos no resultan suficientes para valorar la competitividad y correcta aplicación de un proyecto de generación energética.

Por ello, y así se desarrolla a lo largo de los siguientes puntos, deben considerarse aspectos sociales, económicos y ambientales que consigan, en conjunto, asegurar un desarrollo sostenible en torno al proyecto.



## **6. KEY PERFORMANCE INDICATORS EN PROYECTOS ENERGÉTICOS: INDICADORES SOCIALES.**

Existe numerosa literatura que versa sobre los distintos impactos sobre la sociedad que se derivan de la necesidad de implantación de proyectos, no solo energéticos, si no en proyectos en ingeniería en general. Sin embargo, son varios los autores que coinciden en destacar los indicadores que se definen en los puntos desarrollados a continuación [23, 25, 27, 31, 32, 34, 35].

### **6.1 EMPLEO.**

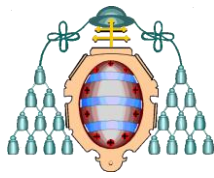
La creación de empleo como indicador engloba tanto la creación de puestos de trabajo directos como indirectos. Este indicador aporta información sobre el potencial que tiene el proyecto para crear empleo directo e indirecto como resultado de la implantación del proyecto energético, tanto a lo largo de las fases de construcción, operación y mantenimiento como en el desmantelamiento de la instalación.

#### **6.1.1 Expresión matemática: EG.**

La creación de empleos directos e indirectos da idea del potencial de generación de puestos de trabajo vinculados al proyecto en todas sus fases, desde la construcción al desmantelamiento, incluyendo la operación y mantenimiento.

Como se ha mencionado, los empleos asociados se pueden clasificar dentro de dos grupos:

- Empleos Directos.  
Referido a los puestos de trabajo generados cuyas funciones están vinculadas de manera directa a los trabajos que exigen las actividades centrales y principales del proyecto de generación.



- Empleos indirectos.

Son los generados por la propia actividad económica vinculada al proyecto. Estos incluyen responsabilidades como los servicios legales y financieros del proyecto o suministros de materiales, entre otros. Resultan necesarios en la fabricación de equipos de la instalación, en la construcción y operación de la planta y están vinculados a la industria relacionada con la actividad de la planta.

El empleo como indicador se mide en empleos al año en relación con la producción energética generada, en base a la ecuación 7.

$$EG = \frac{\sum EG_i t_i}{E_{TOTAL}} \quad (19)$$

$$EG \equiv \text{Empleo Generado} \left[ \frac{\text{empleos} \cdot \text{año}}{Wh} \right]$$

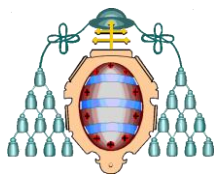
$$EG_i \equiv \text{Empleos Generado en el periodo de tiempo } i \text{ [años]}$$

$$t_i \equiv \text{Duración del empleo durante el periodo de tiempo } i \text{ [años]}$$

$$E_{TOTAL} \equiv \text{Energía Total [Wh]}$$

Donde  $EG$  es el valor de número de trabajos totales creados en el ciclo de vida del proyecto o el periodo de tiempo  $i$  acotado para el estudio,  $EG_i$  es el número de empleos generados para el periodo de tiempo  $i$  y  $t_i$  la duración del empleo durante el periodo de tiempo  $i$ , estando este sumatorio particularizado para cada fase del proyecto. Finalmente,  $E_{TOTAL}$  representa el total de energía producida en el ciclo de vida del proyecto.





## 6.2 IMPACTO SANITARIO.

El impacto en el área sanitario, principalmente los efectos sobre la salud humana, orienta sobre los posibles efectos médicos que se puedan asociar al proyecto. Este indicador se relaciona principalmente con aspectos como la tasa de enfermedad y mortalidad que se asocia al funcionamiento normal de la planta de generación y el suministro de su producción.

### 6.2.1 Expresión matemática: AD.

El efecto de un proyecto energético sobre la salud humana es medible a través del número de años de vida que generan discapacidades y afecciones médicas en el entorno social del proyecto. El indicador, denominado como Años de Discapacidad (AD), combina valores de mortalidad y morbilidad. El cálculo de este indicador resulta como la suma de dos factores: los años vividos con discapacidad (morbilidad) y los años perdidos de vida (mortalidad).

$$AVD = n_{MUERTES} \cdot e_{VIDA} \quad (20)$$

$$APV = \sum((c_i \cdot d_i) \cdot \varphi_i) \quad (21)$$

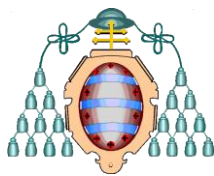
$$AD = AVD + APV \quad (22)$$

$AD \equiv$  Años de Discapacidad [años]

$AVD \equiv$  Años Vividos con Discapacidad [años]

$APV \equiv$  Años Perdidos de Vida [años]

Donde,  $AVD$  son los años vividos con discapacidad, obtenidos a partir del producto de  $n_{MUERTES}$  (número de muertes en la población) y de  $e_{VIDA}$  (esperanza promedio de la población a la edad de la muerte). Por su parte,  $APV$  (Años Perdidos de Vida) resulta del sumatorio, para cada condición o afección particular  $i$  generada, del producto de  $c_i$  (casos concretos de una afección particular  $i$ ),  $d_i$  (duración promedio de una afección particular  $i$ ) y  $\varphi_i$  (peso ponderado representativo de la discapacidad en la sociedad de la afección particular  $i$ ).



### **6.3 RIESGOS DE SEGURIDAD.**

Los riesgos de seguridad como indicador agrupan tanto a los derivados de la ejecución y construcción del proyecto como a los vinculados a la explotación y mantenimiento de la planta. Un modo de cuantificarlos es su análisis en términos de accidentes con riesgo de muerte por unidad de energía producida.

Resulta un factor crucial para la puesta en marcha del proyecto. No en vano, garantizar la seguridad tanto de los empleados como del entorno, tanto social como natural, es una responsabilidad ética de obligado cumplimiento.

#### **6.3.1 Expresión matemática: IR.**

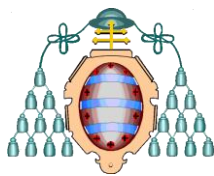
La medida habitual del indicador de riesgo (*IR*) en cuanto al aspecto social del proyecto es cuantificable en términos de muertes y lesiones producidas a partir de accidentes en relación a la cantidad de energía generada.

Este indicador se basa en una estimación a partir del histórico de datos de accidentes en un proyecto similar. Riesgos existen, principalmente, en las fases vinculadas a la ejecución del proyecto y posterior explotación de la planta (construcción, instalación, operación y mantenimiento y desmantelamiento).

Es reseñable que los riesgos de seguridad asociados a la planta de producción energética son relevantes de cara a la opinión pública. Por ello, y por responsabilidad ética como responsables del sector, deben de seguirse y cumplirse todas las normativas vigentes en materia de seguridad, así como aplicarse todas aquellas medidas preventivas necesarias que aseguren una segura y eficaz explotación de la planta.

### **6.4 ACEPTACIÓN SOCIAL.**

La aceptación del proyecto dentro de su entorno, principalmente la aceptación social, se torna como importante ya que, si bien es complicado que un rechazo social eche abajo el desarrollo de un proyecto, la falta de aceptabilidad afecta a la duración de la puesta en marcha de la planta.



Este indicador es una medida cualitativa de la visión y sensación que genera en la opinión pública la implementación de un proyecto de generación energética. Si bien es cierto que una mala percepción inicial puede ser mitigable a través de acuerdos, este indicador no debe de ser ignorado ya que un rechazo frontal total de los colectivos afectados puede bloquear y finalizar el proyecto de manera prematura.

#### **6.4.1 Expresión matemática: aceptación social.**

La aceptación pública es un parámetro crucial a valorar de cara a la implementación de un proyecto. Este indicador se evalúa de manera cualitativa a través de una escala a establecer que recoja el nivel de satisfacción de la sociedad previamente, así como las opiniones respecto al uso de dicha tecnología en su entorno.

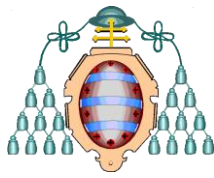
Una oposición frontal de la opinión pública frente a un proyecto energético que genere controversia es un obstáculo fundamental que puede cerrar el proyecto antes siquiera de iniciarse. El rechazo se genera desde múltiples puntos de acción, ya sea por el impacto visual que puede generar el proyecto en el entorno natural en el que se ubica o por la propia tecnología empleada, que se percibe como peligrosa bajo el punto de vista de un ojo inexperto como sociedad.

Se consideran tres categorías de aceptación que integran o tratan de involucrar a todos los posibles interesados sociales en el desarrollo de un proyecto de generación energética.

- Mercado Económico
- Comunidad-Sociedad
- Ámbito Político

Dentro de cada una de las categorías de involucrados sociales enumeradas, la aceptación se divide a su vez en tres factores que afectan a la opinión formada en torno al proyecto por cada uno de los involucrados.

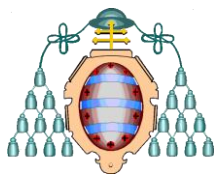
- Factores personales
- Factores contextuales o eventuales
- Factores psicológicos



Aunque se han intentado agrupar los factores y categorías en las que se divide la aceptación pública, la realidad es que de esta se desprenden realidades complejas que se escapan al alcance del proyecto: se debe acudir a una aceptación generalizada y no particularizada.

La aceptabilidad varía para cada proyecto y área de implementación. Así es, por ejemplo, que proyectos energéticos del sector nuclear son rechazados frontalmente en primera instancia por su percepción negativa en la sociedad.

Para contrarrestar esta problemática y otras similares, cuyas opiniones se encuentran arraigadas por defecto, es vital abrir el proyecto a la sociedad a través de campañas de información concreta del proyecto y de divulgación científica de sistemas y tecnologías. De esta manera, con un conocimiento más asentado de la realidad del sector energético, se puede mejorar la aceptación pública y eliminar la barrera que bloquea la implementación de proyectos en energía.



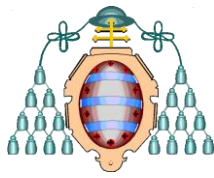
## 7. MARCO GENERAL Y MATRIZ DE INDICADORES.

A la hora de analizar la integración de un proyecto de generación energética dentro de la combinación de generación ya existente no se debe dejar de lado las características sustanciales del mercado eléctrico local en el que se enmarca el proyecto. Por ello, el realizar un análisis multifactorial a través de los indicadores presentados a lo largo de los puntos anteriores se considera indispensable.

Existe numerosa teoría desarrollada que establece distintas metodologías e indicadores clave a analizar de cara a clasificar los diferentes entornos en función de las características particulares del mix energético existente. Complementariamente a los indicadores analizados hasta ahora en el presente documento, existen diversos indicadores que analizan el global de la red energética general en un entorno dado (región, país, etc).

En esta área de estudio, se destacan tres indicadores sobre los demás: Índice Trilemma (Consejo Mundial de la Energía), Índice Choiseul (Instituto Choiseul) e Índice de Rendimiento de la Arquitectura Energética (Foro Económico Mundial). Ofrecen una visión global del sistema energético en funcionamiento y su fiabilidad y competitividad, centrandó su visión bajo la idea de que el sistema energético global debe evaluarse bajo diferentes ángulos, teniendo en cuenta la situación general a escala nacional.

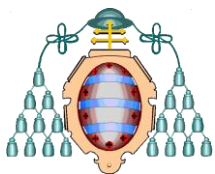
La literatura escrita acerca de las características a cumplir por la combinación del mix energético de una zona geográfica coincide al destacar varios puntos relevantes. Por un lado, la calidad y buena disponibilidad en la red eléctrica existente se torna indispensable para asegurar una tasa de electrificación alta que respalde una distribución sin apagones de suministro. Por otro lado, con el fin de asegurar la sostenibilidad, a todos los niveles, como sociedad, se debe de establecer como base de acción y objetivo indiscutible reducir el impacto medioambiental en términos de emisiones que el sector energético en su conjunto arrastra. Finalmente, debe de promoverse una diversidad en el suministro.



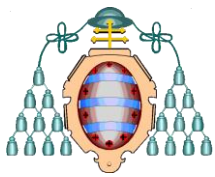
Es decir, la combinación óptima de recursos y tecnologías de generación permite establecer un suministro estable, sostenible e independiente, sin estar supeditado a un solo desarrollo tecnológico o a un único recurso energético. Así, se deduce que los tres grupos principales de parámetros que analizan estos indicadores son:

- Combinación de Sistemas Energéticos (seguridad, dependencia, capacidad)
- Calidad de Generación
- Disponibilidad y Accesibilidad de las tecnologías
- Sostenibilidad ambiental del mix energético

Aunque estos indicadores ayuden a evaluar el sistema energético a una escala mayor que el nivel del proyecto energético, analizando cómo y por qué la implementación de un nuevo proyecto eléctrico afectaría el rendimiento de la combinación energética, para este caso de estudio, estos funcionan como respaldo de los indicadores definidos desde el inicio de este documento, que valoran aspectos clave vinculados directamente al alcance más inmediato del proyecto energético en cuestión. Así, optimizando la presentación de características desarrollada hasta el momento, se presenta la Matriz de Indicadores adjuntada a continuación.

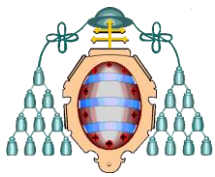


	NOMENCLATURA	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	INPUTS	OUTPUTS	PROYECTO
INDICADORES ECONÓMICOS	<u>CMPC</u>	Coste de Capital necesario	Coste a pagar para obtener el capital necesario que permite la implementación del proyecto	$K_e, E, D$ $K_d, T$	Costo medio del capital necesario	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>CTCV</u>	Coste Total del proyecto	Distintos costes asociados al proyecto durante toda la vida útil del activo	$C_t, B_t, k$ $k_N, k_I$	Inversión total necesaria para llevar a cabo el proyecto	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>VAN</u>	Beneficio económico	Valoración de las distintas opciones de inversión	$F_t, k, n$ $I_0, t$	El proyectos es realizable con : beneficios, pérdidas o indiferente	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>RCB</u>	Ratio Coste-Beneficio	Índice Neto de Rentabilidad que establece la relación entre os costes y beneficios del proyecto	$VAI, VAC$	Valor en tanto por uno de la relación coste-beneficio	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>PRI</u> <u>PRD</u>	Tiempo para recuperar la inversión	Determina el periodo de tiempo para que la inversión inicial esté cubierta y alcance su punto de equilibrio	$n, I_0, F_{n-1}$ $F_t, F_T, k$	Tiempo de recuperación de la inversión inicial simple y descontado	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>TIR</u>	Medida de la rentabilidad	Tasa de rendimiento que sea económicamente viable	$VAN, n, k$ $F_t, I_0$	El proyecto será aceptado o rechazado según la comparativa $TIR-k$	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>LCOE</u>	Coste de generación	Valoración del coste de generar electricidad incluyendo todos los costes a lo largo de la vida útil del proyecto	$I_T, G_T, D$ $E_T, i_R, n$	Coste de generación de la tecnología aplicada	Aplicable a todo proyecto de generación eléctrica
	<u>LACE</u>	Coste evitado de generación	Valor de la planta en la red en la que se implementa	$\Delta S_P, E_P$	Valor real de la electricidad producida dentro del mix energético	Aplicable a todo proyecto de generación eléctrica

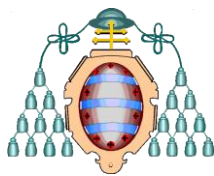


INDICADORES AMBIENTALES	<b><u>SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE RECURSOS</u></b>	Uso del recurso	Valor del cómo se está explotando el recurso necesario	<i>Cantidad de recurso explotado</i>	Agotamiento derivado del suministro del recurso	Aplicable a todo proyecto de generación energética. Relevante en proyectos con recursos agotables.
	<b><u>GWP</u></b>	Potencial de Calentamiento Global	Índice de impacto a través del análisis de emisiones y partículas generadas por la explotación de la planta	$GWP_i$ $E_i$	Medida en gramos equivalentes de $CO_2$ en relación a la producción energética	Aplicable a todo proyecto de generación energética al considerar todo el ciclo de vida.
	<b><u>ESO</u></b>	Espacio de suelo ocupado	Usos directos e indirectos que afectan al impacto del proyecto sobre el espacio de suelo ocupado	$A_{OCUPADA}$ $t_{USO}$	Área de terreno ocupada, durante un tiempo t, por unidad de energía producida	Aplicable a todo proyecto de generación energética
INDICADORES TECNOLÓGICOS	<b><u>EPB</u></b>	Cantidad de Energía	Necesidad de energía durante la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto	$EP_{PRODUCCIÓN}$ $EP_{OPERACIÓN}$ $EP_{TRANSPORTE}$ $EP_{DESMANTELAMIENTO}$	Medida de la cantidad de energía necesaria durante el ciclo de vida del proyecto	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<b><u>TRE</u></b>	Periodo de tiempo	Tiempo que un proyecto necesita operar para generar la energía equivalente necesaria para activarlo	$E_{NECESARIA}$ $PAE_{NETA}$	Años que el proyecto está generando energía gratuita	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<b><u>RE</u></b>	Energía Neta	Cantidad de energía útil que produce el proyecto	$E_{GENERADA}$ $E_{RECURSO}$	Valor energético neto de la producción de energía útil	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<b><u>RATE</u></b>	Ratio Energético	Relación entre la energía generada y la invertida en el proceso	$E_{GENERADA}$ $E_{RECURSO}$	Ratio unitario que determina si se está en déficit o superávit energético	Aplicable a todo proyecto de generación energética





	<u>EES</u>	Eficiencia del Sistema	Ratio de desarrollo en términos de eficiencia	$E_{GENERADA}$ $E_{RECURSO}$ $E_{MP}$	Relación unitaria de producción energética y eficiencia de la tecnología	Aplicable a todo proyecto de generación energética. Relevante en el aprovechamiento de materias primas agotables o de capacidad de renovación limitada.
	<u>EER</u>	Eficiencia de Retorno	Ratio de desarrollo en términos de eficiencia	$E_{GENERADA}$ $E_{RECURSO}$ $E_{MP}$	Relación unitaria de producción energética y eficiencia de la tecnología	Aplicable en proyectos energéticos de energías no renovables
INDICADORES SOCIALES	<u>EG</u>	Empleo Generado	Potencial de creación de empleos directos e indirectos vinculados a todas las fases del proyecto	$EG_i$ $t_i$ $E_{TOTAL}$	Puestos de trabajo generados durante un periodo de tiempo $i$ en relación a la energía total producida	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>AD</u>	Impacto en la Salud Humana	Efectos del proyecto sobre la salud valorando factores de mortalidad y morbilidad	$AVD$ $n_{MUERTES}$ , $e_{VIDA}$ $APV$ $c_i$ , $d_i$ , $\varphi_i$	Años de vida vividos con discapacidades y afecciones médicas	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>IR</u>	Riesgos de seguridad	Indicador de seguridad cuantificable en muertes y lesiones producidas	$Instalaciones$ $accidentadas$ $E_{TOTAL}$	Accidentes producidos en relación a la energía total producida	Aplicable a todo proyecto de generación energética
	<u>ACEPTACIÓN SOCIAL</u>	Aceptación del proyecto	Valor cualitativo de la satisfacción y aceptación de la sociedad respecto al proyecto	$Residentes$ (%) $a$ $favor$ del proyecto	Opinión general de la sociedad afectada respecto la realización del proyecto	Aplicable a todo proyecto de generación energética



## 8. OBSERVACIONES.

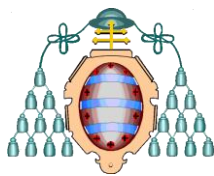
Aproximadamente el cien por cien de los indicadores especificados en el presente documento y agrupados en la Matriz de Indicadores definida en el punto anterior son aplicables a proyectos de generación energética independientemente de la tecnología empleada. Igualmente, se puede establecer el mismo razonamiento aunque se observe desde el punto de vista de la finalidad última del proyecto en cuestión, siendo aplicables todos los indicadores ya sea para analizar proyectos que busquen generar electricidad o sean fuentes de climatización, entre otros. Además, cabe mencionar que los inputs y outputs determinados en la Matriz de Indicadores se han establecido y definido con carácter general, por lo que pueden sufrir ligeras variaciones en su aplicación sobre proyectos concretos y requerir un reajuste de sus definiciones

A pesar de esta horizontalidad en el uso de los indicadores independientemente de la tecnología energética aplicada, se diferencian algunos cuyo uso es más adecuado para unos proyectos que para otros. Así, por ejemplo, la aplicación de EES cobra más sentido cuando se trata de proyectos que emplean como recurso un combustible agotable o con limitada capacidad de regeneración, como puede ser la biomasa.

Asimismo, indicadores como LCOE o LACE se definen como análisis desde el punto de vista económico y están centrados en la generación eléctrica del proyecto. Por tanto, hacen hincapié sobre el valor monetario de la electricidad producida y no sobre el sistema energético aplicado, diferenciándose así del área de aplicación del resto de indicadores especificados.

Se observa un paralelismo entre determinados indicadores tecnológicos y económicos en cuanto a datos a manejar para su análisis y pueden enmarcarse entre ellos como contrarios.

- Tiempo de Retorno Energético (*TRE*) - Periodo de Recuperación(*PRI*)
- Ratio Energético (*RATE*) – Costo Nivelado de Electricidad (*LCOE*)

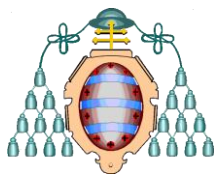


En concreto, para la comparativa RATE - LCOE, por ejemplo, existen similitudes en los datos que manejan cada uno de los indicadores. Así, RATE representa la producción neta de la electricidad generada sobre el coste de la producción de energía y, por su lado, LCOE engloba los costes totales del proyecto sobre la producción neta de electricidad generada. Asimismo, con carácter general, sobre los indicadores económicos no solo influyen los términos energéticos de la producción generada, sino que también se ven afectados por parámetros financieros, políticas gubernamentales, costes de aprovechamiento de recursos, mano de obra o entre otros.

Ahondando en la comparativa entre indicadores económicos y tecnológicos, se puede decir que los relacionados con los términos económicos del proyecto resultan claramente más complejos de analizar al requerir datos y supuestos que, en la mayor parte de los casos, se escapan a los conocimientos abarcables por los responsables del proyecto. Estos son, por ejemplo, los valores que dependan del mercado o de condiciones macroeconómicas más volátiles a nivel global. Por su lado, los indicadores tecnológicos se relacionan directamente con los parámetros físicos del proyecto y puede generalizarse su uso en términos de análisis de energía generada y necesidades de energía.

Ambas razones refuerzan la idea de que un análisis eficaz y profundo del proyecto requiere una matriz de indicadores como la presentada, que permita valorar por múltiples vías todas las características, parámetros y supuestos posibles que afecten al proyecto. Así, lo que tras el análisis de un indicador económico pueda quedar ocultado o sea pasado por alto por no mostrarse al quedar ocultado bajo un rendimiento económico positivo fruto de las condiciones financieras y políticas exclusivas del entorno, será revelado por los indicadores tecnológicos desde el punto de vista energético.

En cuanto a los indicadores ambientales, no se enfocan desde el mismo punto de vista que los económicos o tecnológicos. El análisis de los indicadores ambientales plantea metodologías y objetivos de estudio diferentes orientados al impacto del proyecto en el medio. La interpretación de los resultados derivados de este tipo de indicadores puede resultar complicado y sujeto al ojo de experto de los responsables del análisis. Se centran en el efecto del proyecto sobre el medio ambiente y no en rendimientos económicos o energéticos.

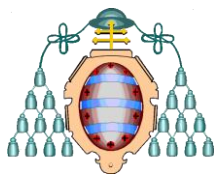


Las valoraciones en torno a los parámetros y supuestos medioambientales a considerar requieren un análisis a gran escala que sobrepase los límites físicos del proyecto de generación y agrupe toda información de la que se pueda inferir cómo encaja el proyecto en el entorno. Por ello, si nos encontramos ante un proyecto energético de generación eléctrica, y siguiendo este argumento, puede resultar más importante analizar el escenario general a escala red eléctrica en el que se defina cómo el proyecto se acopla a la realidad presente que el rendimiento real del servicio prestado en la salida de nuestra instalación, sin tener en cuenta el resto del sistema que está fuera del proyecto concreto.

Al igual que los indicadores ambientales, los indicadores vinculados al entorno social del proyecto son necesarios a la hora de realizar un análisis profundo del proyecto. A pesar de la necesidad de que estén presentes en un estudio relevante, no resultan suficientes por sí mismos al no valorar en ningún parámetro de los que abarcan el desempeño técnico y económico del proyecto. Como se ha definido con anterioridad, los indicadores sociales valoran los impactos que un proyecto energético causa de manera indirecta sobre el bienestar del entorno social.

La similitud en la metodología de análisis, la confluencia en parámetros que engloba su estudio y la propia relevancia de estos sobre el análisis global de un proyecto, hace que los indicadores ambientales y sociales puedan agruparse y constituir el apartado de características socioambientales del proyecto. Se ha mencionado que el uso exclusivo de estos indicadores no da lugar a un análisis completo de la situación, pero sí pueden suponer, por sí mismos, la causa de abandono y rechazo de un proyecto energético.

A pesar de la diferenciación, en cuanto a peso específico, de los indicadores económicos-tecnológicos y los socioambientales, todas las categorías de indicadores pueden considerarse esenciales a la hora de completar un informe que abarque todos los pilares de competitividad y desarrollo sostenible requeridos.



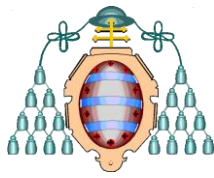
En otro orden de indicadores o parámetros a considerar dentro un completo análisis de desarrollo de un proyecto, los indicadores que tienen en cuenta el mix energético presente en el entorno geográfico del proyecto siguen un enfoque vinculado a la ponderación de una serie de indicadores complementarios. Es cierto que este tipo de indicadores no pueden enfocarse a una comparación de competitividad de proyectos desde el punto de vista individual de cada uno.

Así, los indicadores que valoran el impacto del nuevo proyecto, tras su implantación, dentro de la combinación y equilibrio del mix existente se consideran como indicadores del sistema energético general.

Hasta ahora, en términos físicos del proyecto, se ha hablado de indicadores que tienen en cuenta valores estrictamente ligados a la producción energética. Se debe ampliar este rango de consideraciones llevando el análisis a un nivel orientado a la madurez de la tecnología empleada, valorando la posible mejora del sistema. Este factor se puede considerar relevante en el momento de apostar por una tecnología con un nivel de madurez alto frente a otra que presente una preparación tecnológica menor pero un desarrollo a futuro prometedor.

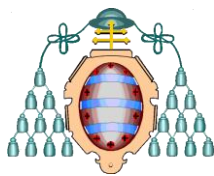
En términos absolutos, no resultan comparables tecnologías con grados de maduración distintos por ser diferente su competitividad técnica en ese momento de análisis. Sin embargo, llevado a un caso real, la comparativa se establece introduciendo su valoración desde el punto de vista de innovación y posibilidad de desarrollo. El auge y promoción actual de nuevos sistemas de aprovechamiento y explotación energética y la apuesta por el I+D+i se revelan como un empuje relevante para la mejora competitiva y técnica de tecnologías con menor grado de madurez.

En este punto, el entorno socioeconómico y político de este tipo de tecnologías menos maduras es fundamental. Pueden respaldarse a través de distintos puntos y normativa de apoyo: primas y subvenciones, cuotas obligatorias, facilidades burocráticas, etc. Por lo tanto, es importante tener en cuenta tanto la madurez como el esquema de apoyo en el que se enmarca el proyecto para considerar las incertidumbres y las oportunidades.



Otro factor relevante y de obligatoria realización es el análisis de riesgos, ya incluido entre los indicadores presentados, resulta sustancial para tener resultados completos y respaldados. Pueden ser críticos y echar atrás un proyecto incluso antes de su implementación.

Con este tipo de estudios de riesgos más profundizados, se identifican los riesgos más críticos según la clasificación a establecer en base al proyecto concreto, siempre caracterizados por su probabilidad de ocurrencia y la importancia de sus consecuencias y trabajar para su gestión y mitigación.



## **9. CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN.**

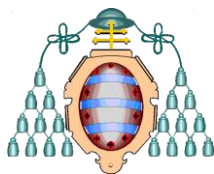
A continuación, buscando respaldar y aplicar la base teórica presentada previamente, se plantean dos casos prácticos que permiten la aplicación de los diversos indicadores ampliamente definidos con anterioridad. Se plantea la posibilidad de implementar dos tipos de energías renovables en Asturias.

Cabe mencionar que los datos que figuran en los siguientes apartados se corresponden con valores habituales reales de proyectos EPC en empresas vinculadas al sector energético. Por términos de confidencialidad empresarial, todos los datos que figuran a continuación son valores aproximados a casos reales de aplicación que están debidamente referenciados, pero que por su trascendencia quedan omitidas sus fuentes.

### **9.1 PROYECTO A. INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.**

El aprovechamiento de la radiación solar como fuente energética es una tecnología ampliamente extendida y desarrollada. Desde sus inicios, con su descubrimiento como fuente e inmediato desarrollo de las primeras células fotoeléctricas, el ámbito de la producción y consumo energético ha experimentado una notable transformación. En un mundo afianzado sobre los pilares de la sostenibilidad, vías de desarrollo basadas en energías renovables y autoabastecimiento cobran especial interés, con el consiguiente protagonismo e importancia de instalaciones como las plantas fotovoltaicas.

Más allá de la complejidad inherente en una instalación de generación, el aprovechamiento de la radiación solar como recurso puede reducirse al concepto 'material semiconductor'. Materiales como el silicio, por ejemplo, son usados en la fabricación de paneles fotovoltaicos debido a sus propiedades. Los electrones que los componen, se excitan con la incidencia solar, cargada de fotones que producen la ruptura atómica del material. Los electrones liberados en el proceso, en este movimiento, provocan una diferencia de cargas que deriva en la generación de electricidad. El trabajo simultáneo de todas las celdas permite la generación de un campo eléctrico en cada panel, cuyo funcionamiento coordinado permite hablar de plantas de generación fotovoltaica.



Los usos y aplicaciones de la tecnología fotovoltaica son múltiples, abarcando desde pequeñas centrales de autoconsumo para zonas localizadas hasta su contribución directa en el mix de generación energético. La instalación de plantas y el suministro a industria y edificación aumenta de manera exponencial.

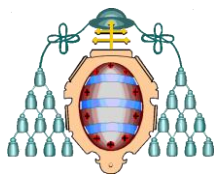
- Autoconsumo doméstico e industrial
- Sistemas de Señalización  
Balizas, puestos de emergencia, tráfico.
- Suministros Energéticos  
Energía industrial, calentadores, sistemas de climatización.
- Vehículos y automoción general

Frecuentemente, al hablar de energías renovables se hace referencia a su valor futuro como salida al problema de la demanda energética. Lo cierto es que energías como la solar fotovoltaica no son solo una vía de desarrollo a futuro, sino que son fuentes de generación de presente con gran presencia y contribución como recurso energético.

El coste medio de instalación de este tipo de plantas se abarata a medida que evoluciona su tecnología. Se habla que para 2027 la presencia de la energía solar como recurso para la obtención y abastecimiento podría abarcar en torno al 20%. En cualquier caso, más allá de los números, la energía solar como alternativa para proyectos de generación es una opción a valorar y con recorrido en todos los ámbitos de influencia a tener en cuenta.

Por todo ello, para el caso práctico a evaluar bajo el nombre de Proyecto A, se plantea la instalación de una planta de generación solar fotovoltaica que suministre energía eléctrica. La instalación se ubica en una zona de terrenos recuperados medioambientalmente para su aprovechamiento. La revitalización de zonas rurales a través de iniciativas, no solo de ocio, sino también con el impulso de instalaciones medioambientalmente sostenibles que abastezcan zonas más remotas y generen valor añadido en entornos más olvidados son puntos de desarrollo indispensables.





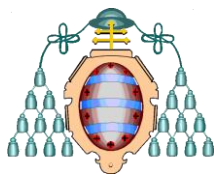
En instalaciones de generación solar fotovoltaica, un aspecto realmente importante a tener en cuenta es el perfil del horizonte. La irradiancia solar que llega a los módulos fotovoltaicos está condicionada por el relieve del entorno geográfico más inmediato.

Estos obstáculos naturales bloquean la componente directa de la irradiancia durante algunos momentos del día y tienen un impacto incisivo. La fuente de datos consultada, junto con la referencia PVGIS 5, establece que la línea de horizonte bloquea la fuente solar durante 570 horas por año.

El objetivo principal de un análisis del recurso solar es proporcionar una estimación exacta de la energía solar que la planta recibiría durante un año tipo establecido. Habitualmente, el recurso solar lo conforman una serie de valores referenciados a 'horas' que tienen en cuenta la irradiancia y la temperatura. Esta serie de datos aportada se denomina Año Meteorológico Típico, cuyos resultados pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Año Meteorológico Típico de la zona evaluada.

<b>Año Meteorológico Típico</b>			
<b>Mes</b>	<b>GHI [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>DHI [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
1	46	26	4
2	64	31	4
3	91	44	8
4	128	65	8
5	113	68	10
6	164	74	15
7	164	76	21
8	153	66	18
9	123	53	17
10	105	35	14
11	56	26	11
12	46	21	5
<b>Total</b>	<b>1252</b>	<b>583</b>	<b>11</b>
<b>GHI - Radiación Global Horizontal</b>			
<b>DHI - Radiación Horizontal Difusa</b>			



### 9.1.1 Configuración de la Planta.

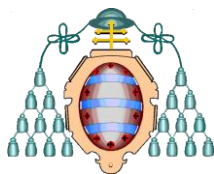
Los principales componentes que conforman la planta de generación fotovoltaica vinculada al Proyecto A son:

- Paneles fotovoltaicos
- Estructuras fijas de soporte que definen la orientación e inclinación de los módulos.
- Strings o conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie.
- Inversores de conversión de corriente continua a alterna.
- Transformadores elevadores de tensión de salida.

Como se ha mencionado, la planta fotovoltaica está compuesta por un conjunto de generadores fotovoltaicos, agrupados en módulos fotovoltaicos conectados en serie mediante asociaciones paralelas. La configuración viene definida por parte del fabricante-instalador, estando esta vinculada a las características técnicas del módulo y del inversor, a los requisitos del sistema de potencia y a las condiciones meteorológicas de la zona. Uno de los criterios de diseño irrevocables establece el alcanzar la máxima tensión posible en continua, respetando la tensión nominal máxima de los módulos (1500 V). En la Tabla 2, adjuntada a continuación, se presentan los datos relativos a la configuración general de la instalación. En ella, entre otros datos, queda determinada la Potencia Máxima y Nominal, así como el número de strings por inversor y módulos por string.

Tabla 2. Configuración general de la planta fotovoltaica.

Características de la configuración	
Potencia Nominal	300 MW
Potencia Máxima	390 MW
Ratio Inversor	1,2
Strings	470
Módulos	25
Inversores	2
Trafos	1

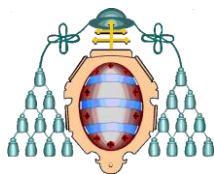


### 9.1.2 Estimaciones de Producción.

A continuación, añadida bajo la denominación de Tabla 3, se especifican las estimaciones de producción de la planta ajustadas anualmente para un ciclo de vida de 25 años reales.

Tabla 3. Producción anual prevista durante el ciclo de vida de la planta.

Producción a 25 años		
Año	Producción [GWh]	Producción Específica [kWh/kWp]
1	406	1043
2	405	1040
3	404	1037
4	403	1034
5	401	1030
6	400	1027
7	399	1024
8	398	1021
9	396	1018
10	395	1014
11	394	1011
12	393	1008
13	391	1005
14	390	1002
15	389	999
16	388	996
17	386	993
18	385	990
19	384	987
20	383	984
21	381	981
22	380	978
23	379	975
24	378	972
25	376	969
<b>Total</b>	<b>9784</b>	<b>1005</b>

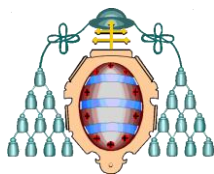


### 9.1.3 Resultados: KPIs aplicados.

Una vez definida, con carácter general, la instalación fotovoltaica a implantar (Proyecto A), se busca respaldar el proceso de decisión de llevar a cabo o no el proyecto en cuestión. Con tal fin, comprobando así la aplicación práctica de los KPIs definidos en la base teórica previa, se obtienen los resultados agrupados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados obtenidos para los KPIs seleccionados.

	NOMENCLATURA	FORMULACIÓN	OUTPUTS
INDICADORES ECONÓMICOS	<b>CMPC</b>	$CMPC = K_e \cdot \frac{E}{E+D} + K_d(1-T) \frac{D}{E+D}$	<b>CMPC</b> 5,60 %
	<b>CTCV</b>	$CTCV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t(\text{costes}) + B_t(\text{beneficios})}{(1+k)^t}$	<b>CTCV</b> 3,54 %
	<b>VAN</b>	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$	<b>VAN</b> 1597411 €
	<b>RCB</b>	$RCB = \frac{VAI}{VAC}$	<b>RCB</b> 9,95
	<b>PRI</b>	$PRI = (n-1) + \frac{(I_0 - F_{n-1})}{F_T}$	<b>PRI</b> 15 años
	<b>TIR</b>	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$	<b>TIR</b> 4,09 %
	<b>LCOE</b>	$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n (I_T + G_T \cdot (1 - i_R) - D_T \cdot i_R)}{\sum_{t=1}^n (E_T \cdot (1 - i_R))}$	<b>LCOE</b> 31,03 €/MWh
	<b>LACE</b>	$LACE = \frac{\Delta S_p}{E_p}$	<b>LACE</b> 0,87 €/kWh
	<b>SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE RECURSOS</b>	<b>Agotamiento del Recurso</b> No aplica por tratarse de un recurso renovable	
	INDICADORES AMBIENTALES	<b>GWP</b>	$GWP = \sum GWP_i \cdot E_i$
<b>ESO</b>		$ESO = A_{OCUPADA} \cdot t_{USO}$	<b>ESO</b> 112,75 $\frac{m^2 \cdot \text{año}}{MWh}$



<b>INDICADORES TECNOLÓGICOS</b>	<b>EPB</b>	$EPB = EP_{\text{PRODUCCIÓN}} + EP_{\text{OPERACIÓN}} + EP_{\text{TRANSPORTE}} + EP_{\text{DESMANTELAMIENTO}}$	<b>EPB</b> <b>3113,01 MWh/año</b> 0,77% del total producido
	<b>TRE</b>	$TRE = \frac{E_{\text{NECESARIA}}}{PAE_{\text{NETA}}}$	<b>TRE</b> <b>0,008 años</b>
	<b>RE</b>	$RE = E_{\text{GENERADA}} - E_{\text{RECURSO}}$	<b>RE</b> <b>403 MW/año</b>
	<b>RATE</b>	$RATE = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{E_{\text{RECURSO}}}$	<b>RATE</b> $\cong 100:1$
	<b>EES</b>	$EES = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{(E_{\text{RECURSO}} + E_{\text{MP}})_{\text{TOTAL}}}$	<b>EES</b> $\cong 100:1$
	<b>EER</b>	$EER = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{(E_{\text{RECURSO}} + E_{\text{MP}})_{\text{NO RENOVABLE}}}$	<b>EER</b> -
	<b>EG</b>	$EG = \frac{\sum EG_i \cdot t_i}{E_{\text{TOTAL}}}$	<b>EG</b> <b>80,91 empleos/MW</b>
	<b>AD</b>	No se dispone de datos reales que respalden un valor objetivo.	
	<b>IR</b>	No se dispone de datos reales que respalden un valor objetivo.	
	<b>ACEPTACIÓN SOCIAL</b>	Índice de Aceptación <b>ALTO</b> Principales consideraciones resumidas en Tabla 5	

La Tabla 5 adjuntada a continuación recoge los parámetros y aspectos más importantes relacionados con el indicador Aceptación Social vinculado a la planta fotovoltaica a instalar, categorizados en cuatro bloques: impactos percibidos, barreras o límites de aceptación, demandas y requisitos más habituales y estrategias generales a adoptar.

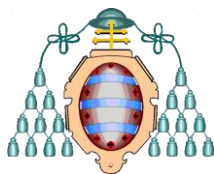
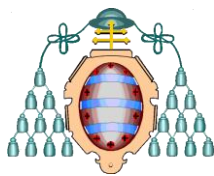


Tabla 5. Parámetros vinculados a la aceptación de la planta.

<b>Principales aspectos en la Aceptación Social de Plantas Fotovoltaicas</b>			
<b>IMPACTOS PERCIBIDOS</b>	<b>LÍMITES ACEPTACIÓN</b>	<b>REQUISITOS DE COMPENSACIÓN</b>	<b>ESTRATEGIAS ADOPTADAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación e impactos en la salud.</li> <li>▪ Suelo afectado.</li> <li>▪ Impacto vial por construcción.</li> <li>▪ Uso de terrenos de pastoreo.</li> <li>▪ Desertificación.</li> <li>▪ Impacto en el sector agrícola.</li> <li>▪ Impacto en la biodiversidad de la zona.</li> <li>▪ Afectación de la flora y la fauna.</li> <li>▪ Pérdida del valor paisajístico.</li> <li>▪ Impacto sobre el patrimonio cultural.</li> <li>▪ Alteración del recurso hídrico.</li> <li>▪ Contaminación visible y subterránea.</li> <li>▪ Percepción sobre las energías limpias.</li> <li>▪ Gestión de los residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afección a la calidad de vida de la comunidad de la zona.</li> <li>▪ Dudas en torno a los aspectos técnicos.</li> <li>▪ Medidas de compensación percibidas como insuficientes.</li> <li>▪ Afecciones a flora y fauna y actividades de explotación turística de la zona.</li> <li>▪ Ocupación de gran extensión de terreno.</li> <li>▪ Dudas sobre los beneficios reales de los proyectos.</li> <li>▪ Posible afección del clima local.</li> <li>▪ Baja integración de la comunidad en los beneficios laborales del proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejoras de caminos y vías naturales del entorno.</li> <li>▪ Medidas de escorrentía de aguas en épocas de lluvia.</li> <li>▪ Catastro de las especies animales y florísticas del entorno.</li> <li>▪ Alternativas de menos impacto por torres de alta tensión.</li> <li>▪ Estudios de preservación del valor natural y cultural de la zona.</li> <li>▪ Medidas de mitigación contra el ruido y polvo.</li> <li>▪ Monitoreo del ruido.</li> <li>▪ Ayudas locales a organizaciones comunitarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adopción de compromisos con la comunidad: capacitaciones técnicas, apoyo a infraestructuras locales.</li> <li>▪ Medidas de compensación ambiental: reforestación de especies nativas y recuperación de suelos.</li> <li>▪ Adopción de compromisos medioambientales voluntarios durante todas las fases: acercamiento con representantes comunitarios, favorecer la mano de obra local, electrificación e infraestructura de la comunidad, capacitación técnica de los profesionales locales, ayuda a la economía agrícola de la zona.</li> </ul>

#### 9.1.4 Resultados: resumen del modelo establecido.

Definida y modelada la planta fotovoltaica analizada, se realiza un análisis preliminar basado, por un lado, en los indicadores establecidos en la base teórica y, por otro lado, en determinados supuestos y asunciones. El documento establece un ciclo de vida y unas producciones de la planta estimadas a 25 años. Por ello, el modelo económico, social, técnico y ambiental estudiado se realiza en base a esta premisa inicial.

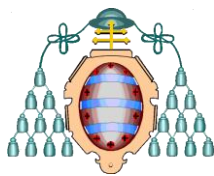


Como se ha mencionado anteriormente, el estudio y los resultados obtenidos han sido respaldados con datos fundamentados en el conocimiento experto de la propia compañía en materia de Proyectos EPC en Generación Energética. Dado el carácter sensible del análisis, se ha decidido mantener la confidencialidad de la fuente, así como los valores exactos de los inputs necesarios para la valoración de los indicadores.

En otro orden, el objetivo general de este análisis numérico es el de respaldar la implantación de una planta de generación fotovoltaica a construir en una zona con posibilidades de revalorización tanto económica como ambiental. La planta, de aproximadamente 300 MW, se diseña con módulos fotovoltaicos de tecnología contrastada con una potencia máxima unitaria de 440 W. Son montados sobre estructura fija, cuya posición e inclinación óptimas son refrendadas en base al estudio técnico y topográfico realizado por parte de la compañía.

Los resultados expuestos anteriormente se han obtenido considerando precios medios de venta de energía de entre 30 y 50 €/MWh, con una variación media anual del -2% durante la vida estimada de la planta. La inversión inicial estimada para la ejecución del proyecto será, aproximadamente, de entre 130 y 175 millones de euros. La fase de construcción se planifica para un periodo de 12 meses, excluyendo de este valor el tiempo necesario para la conexión a red de la planta. Cabe mencionar que de los términos económicos establecidos se excluyen los costes derivados de la obtención de permisos y licencias necesarias, por variar estos con determinadas legislaciones de carácter local. No así ocurre con el coste del terreno, cuyo valor está incluido en el análisis.

En cuanto a valores económicos más relevantes, se obtiene que la planta proyectada tiene un LCOE, o coste constante por unidad de generación de 31 €/MWh, con un CMPC (tasa de descuento aplicada en el descuento de flujos de caja futuros para valorar la inversión) del 5,6% y una TIR positiva de 4,09% para el peor de los escenarios posibles. El periodo de recuperación de la inversión PRI (fecha en la cual será cubierta la inversión inicial) se prevé en 15 años, con un LACE (relación entre la variación del coste y la unidad de energía producida) positivo de 0,87 €/kWh.



Asimismo, los resultados arrojan valores interesantes en cuanto a los aspectos sociales relevantes, estando socialmente aceptada con un alto grado de conformidad la implantación de proyectos solares.

Cabe mencionar que otros indicadores sociales establecidos, como los impactos sanitarios o los riesgos de seguridad no han podido analizarse en profundidad al no contar con datos suficientes que respalden estos aspectos.

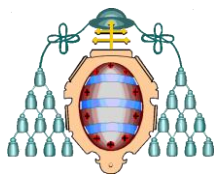
En cuanto a la relevancia ambiental del proyecto, en términos de huella de carbono, el Proyecto A presenta un valor de GWP de 34500 tCO<sub>2eq</sub>/MWh por año de producción.

Por su parte, en lo relativo a la producción energética de la instalación, el Proyecto A presenta un EPB (energía primaria durante la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto con el fin de proporcionar un servicio o producto de interés) de 3113,01 MWh/año, lo que supone un 0,77% del total producido. Tanto el RATE (cantidad de energía obtenida,  $E_{GENERADA}$ , respecto a la cantidad de energía invertida en dicho proceso de generación,  $E_{RECURSO}$ ) como el EES (donde, acudiendo a su definición,  $E_{GENERADA}$  es la energía producida que retorna al conjunto de la sociedad y  $E_{RECURSO}$  es la energía empleada tanto directa como indirectamente en producir  $E_{GENERADA}$ ) cuentan con valores cercanos a la relación 100:1, lo que supone un aprovechamiento realmente eficaz del recurso explotado, generando 100 veces más de lo que inviertes en dicha producción.

Se calcula también que el periodo que el proyecto necesita estar en operación para generar la cantidad equivalente de energía que necesita para implantarse (TRE) es de 0.008 años.

Finalmente, valorando el impacto que tiene el Proyecto A sobre la comunidad del entorno, se estima que la instalación dará lugar a aproximadamente 81 empleos, entre directos e indirectos, por MW instalado, teniendo en cuenta el global de fases de desarrollo del proyecto.





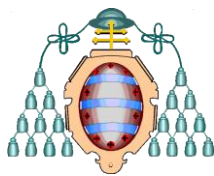
## 9.2 PROYECTO B. INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN EÓLICA.

La energía eólica como fuente de generación se ha convertido en una tecnología clave para el cambio del modelo energético, más limpio y sostenible. Las mejoras y desarrollos en las tecnologías de explotación del recurso eólico permiten que algunos campos de generación produzcan energía a precios tan competitivos como los de las tradicionales centrales térmicas y nucleares. Como todo sistema, cuenta con ventajas y desventajas. Se puede asegurar que las ventajas que presenta un aprovechamiento del recurso eólico ganan en competitividad a las desventajas que pueden conllevar.

A grandes rasgos, estableciendo definiciones obvias, la energía eólica es la energía que aprovecha como recurso el viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes del aire, que transforma la energía cinética en eléctrica a través de un generador. Es una energía cien por cien renovable, limpia y que se revela como clave en el reemplazo de la energía tradicionalmente producida a través de combustibles fósiles.

Actualmente, el mayor productor de energía eólica a nivel mundial es Estados Unidos, seguido por Alemania, China, España e India. América latina aumenta cada vez más su presencia en este sector, siendo Brasil el país más destacado en MW producidos. Por su parte, España abastece a través de energía eólica a una media de 12 millones de hogares, cubriendo entre el 14 y el 18 % de las necesidades energéticas del país.

Como se ha mencionado, la energía eólica se obtiene en la conversión del movimiento de un aerogenerador a energía eléctrica. Un aerogenerador se define como un generador eléctrico movido por una turbina accionada por la fuerza del viento. Está formado por una torre, un sistema de orientación, un armario de acoplamiento a la red, un armazón que agrupa los componentes mecánicos que se emplea como base a las palas, un eje y mando del rotor, un freno, un multiplicador, el generador y el sistema de regulación eléctrica.

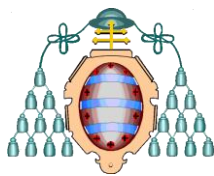


Del mismo modo que todo proyecto, la implantación de un campo de generación eólico presenta ventajas e inconvenientes que refuerzan o debilitan el proceso de decisión de puesta en marcha del proyecto. La energía eólica es una tecnología no contaminante de bajo coste, con precios por kW menores a centrales convencionales de generación en zonas donde el recurso es muy activo. Es inagotable y compatible en la zona geográfica de influencia con otras actividades, como la agrícola y ganadera.

Por el contrario, a día de hoy no es una fuente de producción almacenable por lo que su consumo debe de ser inmediato. Asimismo, el recurso depende de condiciones externas, por lo que a pesar de ser inagotable no está garantizada su disponibilidad de manera constante. En cuanto a impacto visual se refiere, es una energía con gran influencia en el relieve paisajístico, lo que puede traducirse en cambios en la biodiversidad de la zona de influencia.

Por todo ello, para el caso práctico a evaluar bajo el nombre de Proyecto B, se plantea la instalación de una planta de generación eólica que suministre energía eléctrica. La planta, orientada hacia el autoconsumo y de aproximadamente 4 MW, se diseña con dos aerogeneradores de tecnología contrastada con una potencia máxima de 2 W cada uno. Son montados de tal manera que la estela de uno no afecte a la producción del conjunto y conforme a la legislación vigente que establece la relación de número de equipos a instalar frente al espacio de ocupación.

Para basar en datos la ubicación escogida, se realiza un estudio técnico de la topografía del área de uso, vinculado a un análisis más detallado, propiedad de la compañía, que establece las pendientes y orografía de la zona y respalda la decisión de implantar la instalación por ser una de las mejores zonas disponibles para el aprovechamiento del recurso eólico.



### 9.2.1 Estimación de la Producción y Modelo aplicado.

La estimación de los valores de generación del recurso eólico no resulta un análisis sencillo por los múltiples factores, tecnológicos y meteorológicos, entre otros, que se ven involucrados. Para afinar más estas estimaciones, son tres los puntos considerados para la producción de cada aerogenerador:

- Recurso Eólico en la altura determinada del buje del aerogenerador.
- Curva de potencia del sistema aportada por el fabricante.
- Lay-out de la instalación.

Para un respaldo de los valores de producción, se emplea el software basado en el Modelo WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program). Esta herramienta proporciona una producción libre (Energía Bruta) anual del conjunto de aerogeneradores con los que cuenta un parque de producción, teniendo en cuenta los efectos derivados de la topografía del terreno y de la densidad del aire. Por otro lado, realiza un cálculo de las pérdidas por efecto de estela, que son interferencias entre aerogenerador y aerogenerador, resultado así una producción eléctrica anual del parque.

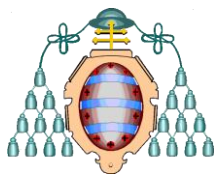
De entre la selección de tecnologías realizada, se concluye la elección del Aerogenerador AV12, que presenta las características recogidas en la Tabla 6 y 7, por tener un resultado de horas equivalentes más alto de entre los sistemas comparados.

Tabla 6. Valores del Aerogenerador AV12.

Aerogenerador	Potencia [MW]	Altura Buje [m]	Energía Bruta Generada [MWh]	Energía Neta Generada [MWh]	Horas Eq.
AGV12	2	125	7877	7850	1963

Tabla 7. Resultados obtenidos con WAsP.

Aerogenerador		Energía Bruta Generada [MWh]	Energía Neta Generada [MWh]	Pérdidas por Estela [%]	Velocidad [m/s]
AGV12	AGV1	4060	4035	0,55	4,60
	AGV2	3830	3814	0,40	4,50



El parque se compondrá únicamente de dos aerogeneradores con una altura de buje de 125 m que generarán una producción neta anual de 7850 MWh por año de trabajo, con un total de 1963 horas equivalentes. Cumplidos así los parámetros técnicos de producción requeridos por parte del proyecto planteado, los términos económicos de la instalación adoptan un papel relevante.

La rentabilidad y viabilidad de este proyecto pasa por obtener una producción de energía suficiente para una determinada inversión, que justifique toda la tarifación establecida. Por dimensiones, puede tratarse de un proyecto eólico de autoconsumo y como tal se enfocará.

El modelo establecido para la implementación de este proyecto pasa por la conexión del sistema a la red de distribución de la zona. Un análisis de viabilidad, principalmente en términos económicos, para el presente caso práctico deberá componerse de los siguientes parámetros de entrada:

- Costes de inversión.
- Capital disponible y financiación externa.
- Producción e ingresos derivados de la instalación de generación.
- Gastos relativos a consumos de la infraestructura del parque, operación y mantenimiento.
- Amortizaciones, tasas e impuestos.

Sobre un proyecto de estas características influyen múltiples factores, no solo técnicos, sino también económicos, relacionados principalmente con valores macroeconómicos y de acceso a capital. En las tablas 8, 9 y 10 adjuntas a continuación se resumen los principales parámetros que determinan el marco sobre el que se desarrolla el Proyecto B.

Tabla 8. Parámetros resumen e Ingresos del Parque Eólico.

PARÁMETROS DE LA INSTALACIÓN			INGRESOS PREVISTOS		
<b>Potencia</b>	Precio Venta Energía	30-70	Precio Venta Energía	30-70	€/MWh
<b>Horas Anuales</b>	Ingreso por Bonos	0	Ingreso por Bonos	0	€/MWh
<b>Producción</b>	Seguro	50000	Seguro	50000	€/año
<b>Degradación anual</b>	Arrendamiento	0	Arrendamiento	0	%
<b>Consumo propio</b>	O&M	20-35	O&M	20-35	%

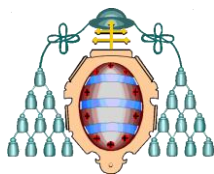


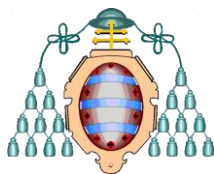
Tabla 9. Características específicas de la instalación.

PARÁMETROS DE LA INSTALACIÓN		
Aerogenerador	AG V12	
Número de Aerogeneradores	2	
Potencia Parque	4	MW
Inversión	4800000	€
Fondos propios	100	%
Producción Neta Anual	7850	MWh/año
Producción en horas equivalentes anuales	1962	horas

Tabla 10. Características Financieras.

PARÁMETROS FINANCIEROS		
Coste Inversión (Ratio)	1,2	€/Wp
Inversión Total	4800000	€
Fondos Propios (Equity)	4800000	€
Importe Financiado	0	%
Plazo Préstamo	10	Años
Carencia	0	Años
Interés	5	%
Amortización	10	%
Plazo Préstamo IVA	4	Años
Interés Crédito IVA	8	%
Impuesto sobre sociedades	25	%
Desgravación Fiscal	0	%
Tasa descuento k	2,5	%
IPC General Anual	2	%
IPC Precio Venta Energía	2	%

Una vez fijados todos los parámetros iniciales relativos al dimensionamiento técnico y económico del proyecto, entre otros menos directos y con mayores hipótesis de partida, se habilita la aplicación de los principales indicadores de competitividad objetivo de este estudio.

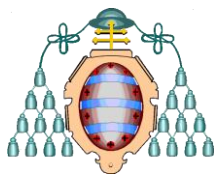


## 9.2.2 Resultados: KPIs aplicados.

Establecidos los valores de partida de la instalación eólica a implantar (Proyecto B), se busca respaldar el proceso de decisión de llevar a cabo o no el proyecto en cuestión. Por ello, reforzando el uso práctico de los KPIs definidos en la base teórica ya desarrollada al comienzo de este documento, se obtienen los resultados agrupados en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados obtenidos para los KPIs seleccionados.

		NOMENCLATURA	FORMULACIÓN	OUTPUTS
INDICADORES ECONÓMICOS	<u>CMPC</u>		$CMPC = K_e \cdot \frac{E}{E + D} + K_d(1 - T) \frac{D}{E + D}$	<b>CMPC</b> <b>7,30 %</b>
	<u>CTCV</u>		$CTCV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t(\text{costes}) + B_t(\text{beneficios})}{(1 + k)^t}$	<b>CTCV</b> <b>4,81 %</b>
	<u>VAN</u>		$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + k)} + \frac{F_2}{(1 + k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + k)^n}$	<b>VAN</b> <b>1087615 €</b>
	<u>RCB</u>		$RCB = \frac{VAI}{VAC}$	<b>RCB</b> <b>5,17</b>
	<u>PRI</u>		$PRI = (n - 1) + \frac{(I_0 - F_{n-1})}{F_T}$	<b>PRI</b> <b>18 años</b>
	<u>TIR</u>		$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n}$	<b>TIR</b> <b>4,33 %</b>
	<u>LCOE</u>		$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n (I_T + G_T \cdot (1 - i_R) - D_T \cdot i_R)}{\sum_{t=1}^n (E_T \cdot (1 - i_R))}$	<b>LCOE</b> <b>61,77 €/MWh</b>
	<u>LACE</u>		$LACE = \frac{\Delta S_p}{E_p}$	<b>LACE</b> <b>0,678 €/kWh</b>
	<u>SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE RECURSOS</u>	<b>Agotamiento del Recurso</b> No aplica por tratarse de un recurso renovable		
	AMBIENTALES INDICADORES	<u>GWP</u>		$GWP = \sum GWP_i \cdot E_i$
<u>ESO</u>			$ESO = A_{OCUPADA} \cdot t_{USO}$	<b>ESO</b> <b>81,35</b> <b><math>\frac{m^2 \cdot \text{año}}{MWh}</math></b>



<b>INDICADORES TECNOLÓGICOS</b>	<b>EPB</b>	$EPB = EP_{\text{PRODUCCIÓN}} + EP_{\text{OPERACIÓN}} + EP_{\text{TRANSPORTE}} + EP_{\text{DESMANTELAMIENTO}}$	<b>EPB</b> <b>142 MWh/año</b> 1,1% del total producido
	<b>TRE</b>	$TRE = \frac{E_{\text{NECESARIA}}}{PAE_{\text{NETA}}}$	<b>TRE</b> <b>0,011 años</b>
	<b>RE</b>	$RE = E_{\text{GENERADA}} - E_{\text{RECURSO}}$	<b>RE</b> <b>7708 MW/año</b>
	<b>RATE</b>	$RATE = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{E_{\text{RECURSO}}}$	<b>RATE</b> <b>≈ 55:1</b>
	<b>EES</b>	$EES = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{(E_{\text{RECURSO}} + E_{\text{MP}})_{\text{TOTAL}}}$	<b>EES</b> <b>≈ 55:1</b>
	<b>EER</b>	$EER = \frac{E_{\text{GENERADA}}}{(E_{\text{RECURSO}} + E_{\text{MP}})_{\text{NO RENOVABLE}}}$	<b>EER</b> -
	<b>EG</b>	$EG = \frac{\sum EG_i \cdot t_i}{E_{\text{TOTAL}}}$	<b>EG</b> <b>51,34 empleos/MW</b>
<b>INDICADORES SOCIALES</b>	<b>AD</b>	No se dispone de datos reales que respalden un valor objetivo.	
	<b>IR</b>	No se dispone de datos reales que respalden un valor objetivo.	
	<b>ACEPTACIÓN SOCIAL</b>	Índice de Aceptación <b>ALTO</b> Principales consideraciones resumidas en Tabla 12	

La Tabla 12 adjuntada a continuación recoge los parámetros y aspectos más importantes relacionados con el indicador Aceptación Social vinculado a la planta eólica proyectada, categorizados en cuatro bloques: impactos percibidos, barreras o límites de aceptación, demandas y requisitos más habituales y estrategias generales a adoptar.

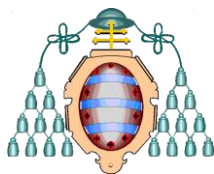
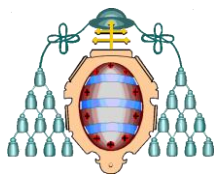


Tabla 12. Parámetros vinculados a la aceptación de la planta.

<b>Principales aspectos en la Aceptación Social de Plantas Eólicas</b>			
<b>IMPACTOS PERCIBIDOS</b>	<b>LÍMITES ACEPTACIÓN</b>	<b>REQUISITOS DE COMPENSACIÓN</b>	<b>ESTRATEGIAS ADOPTADAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deterioro de caminos, vías y emisiones de polvo por efecto de la construcción de la instalación.</li> <li>▪ Impactos en la salud y el entorno derivadas de la explotación de la instalación (vibraciones, movimientos, alteraciones).</li> <li>▪ Alteración en la fauna y flora local.</li> <li>▪ Alteración del patrimonio cultural.</li> <li>▪ Alteración del recurso hídrico.</li> <li>▪ Contaminación acústica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se percibe alteración de la calidad de vida.</li> <li>▪ Incertidumbre en torno a los beneficios reales del proyecto.</li> <li>▪ Horarios de trabajo en la planta.</li> <li>▪ Afectación de la flora.</li> <li>▪ Restos de valor cultural en el entorno.</li> <li>▪ Ruidos derivados de la generación en la instalación y funcionamiento general.</li> <li>▪ Falta de información y desconocimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Separación con las viviendas y núcleos poblacionales del entorno.</li> <li>▪ Reparación y creación de vías alternativas.</li> <li>▪ Solución a escorrentías y movimientos de tierra.</li> <li>▪ Catastro de las especies animales y florísticas del entorno.</li> <li>▪ Alternativas de menos impacto por torres de alta tensión.</li> <li>▪ Estudios de preservación del valor natural y cultural de la zona.</li> <li>▪ Medidas de mitigación contra el ruido y polvo.</li> <li>▪ Monitoreo del ruido.</li> <li>▪ Ayudas locales a organizaciones comunitarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planes de relación comunitarios involucrando a la comunidad en el proyecto favoreciendo sistemas de educación y cultura general.</li> <li>▪ Planes de mejora de la biodiversidad.</li> <li>▪ Mejora en las infraestructuras de la zona y construcción de equipamientos turísticos.</li> <li>▪ Adopción de compromisos medioambientales voluntarios durante todas las fases: acercamiento con representantes comunitarios, favorecer la mano de obra local, electrificación e infraestructura de la comunidad, capacitación técnica de los profesionales locales, ayuda a la economía agrícola de la zona.</li> </ul>





### 9.2.3 Resultados: resumen del modelo establecido.

Las tablas y valores anteriormente especificados definen con carácter general el parque eólico vinculado al Proyecto B analizado. Se realiza un análisis preliminar basado, por un lado, en los indicadores establecidos en la base teórica y, por otro lado, en determinados supuestos e hipótesis relacionados principalmente con los términos económicos del proyecto.

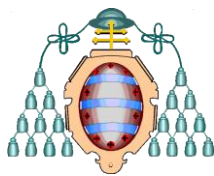
El documento establece un ciclo de vida y unas producciones de la planta estimadas a 25 años. Por ello, el modelo económico, social, técnico y ambiental estudiado se realiza en base a esta premisa inicial.

Como se determinado en puntos previos, el estudio y los resultados obtenidos han sido respaldados con datos fundamentados en el conocimiento experto de la propia compañía en materia de Proyectos EPC en Generación Energética. Dado el carácter confidencial de los datos aplicados para el análisis, se ha decidido mantener la confidencialidad de la fuente, así como los valores exactos de los inputs necesarios para la valoración de los indicadores.

Por otro lado, el objetivo principal de este estudio numérico es el de refrendar la ejecución de una planta de generación eólica a construir en una zona con posibilidades de revalorización tanto económica como social y ambiental.

Los resultados expuestos anteriormente se han obtenido considerando precios medios de venta de energía de entre 30 y 70 €/MWh. La inversión inicial estimada para la ejecución del proyecto será, aproximadamente, de 5 millones de euros. La fase de construcción se planifica para un periodo de 7 meses, excluyendo de este valor el tiempo necesario para la conexión a red de la planta.

Cabe mencionar que de los términos económicos establecidos se excluyen los costes derivados de la obtención de permisos y licencias necesarias, por variar estos con determinadas legislaciones de carácter local. No así ocurre con el coste del terreno, cuyo valor está incluido en el análisis.



En cuanto a valores económicos más relevantes de cara a la comparación, se obtiene que la planta proyectada tiene un LCOE, o coste constante por unidad de generación, de 62 €/MWh, con un CMPC (tasa de descuento aplicada en el descuento de flujos de caja futuros para valorar la inversión) del 7,3% y una TIR positiva de 4,33% para el peor de los escenarios posibles.

El periodo de recuperación de la inversión PRI (fecha en la cual será cubierta la inversión inicial) se prevé en 18 años, con un LACE (relación entre la variación del coste y la unidad de energía producida) positivo de 0,687 €/kWh.

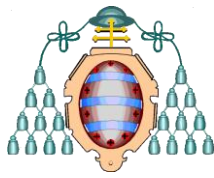
Del mismo modo que ocurría con el Proyecto A, los resultados del Proyecto B arrojan valores interesantes en cuanto a los aspectos sociales relevantes, con un alto grado de aceptación la implantación de proyectos eólicos.

Otros indicadores sociales establecidos, como los impactos sanitarios o los riesgos de seguridad no han podido analizarse en profundidad al no facilitarse datos realistas sobre estos aspectos.

Por un lado, en cuanto a los impactos ambientales importantes del proyecto, el Proyecto B presenta valores menores, por las dimensiones de la planta, en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> se refiere, con un valor de GWP de 3677 tCO<sub>2eq</sub>/MWh por año de producción.

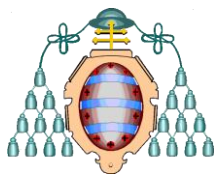
Por otro lado, en lo relativo a la producción energética de la instalación, el Proyecto B presenta un EPB (energía primaria durante la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto con el fin de proporcionar un servicio o producto de interés) de 142 MWh/año, lo que supone un 1,1 % del total producido.

Tanto el RATE (cantidad de energía obtenida,  $E_{GENERADA}$ , respecto a la cantidad de energía invertida en dicho proceso de generación,  $E_{RECURSO}$ ) como el EES (donde, acudiendo a su definición,  $E_{GENERADA}$  es la energía producida que retorna al conjunto de la sociedad y  $E_{RECURSO}$  es la energía empleada tanto directa como indirectamente en producir  $E_{GENERADA}$ ) cuentan con valores cercanos a la relación 55:1, lo que supone un aprovechamiento del recurso eólico óptimo, generando 55 veces más energía de la empleada para tal aprovechamiento.



Asimismo, se calcula que el periodo que el proyecto necesita estar en operación para generar la cantidad equivalente de energía que necesita para implantarse (TRE) es de 0,011 años.

Finalmente, valorando el impacto que tiene el Proyecto B sobre la comunidad del entorno, se estima que la instalación dará lugar a aproximadamente 52 empleos, entre directos e indirectos, por MW instalado, teniendo en cuenta el global de fases de desarrollo del proyecto.



## 10. COMPARATIVA ENTRE CASOS.

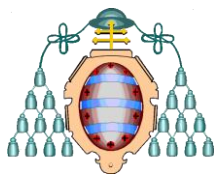
Dada la naturaleza compleja que presentan los Proyectos EPC en energía, los numerosos involucrados y los parámetros que influyen sobre las características propias de los proyectos, la capacidad de establecer un análisis de indicadores clave que respalden los procesos de decisión se alzan como indispensables. La comparativa entre casos permite ajustar las acciones a tomar, facilitando la consecución de resultados.

Con el objetivo de ser más eficaces, es interesante monitorear los indicadores, así como establecer un análisis de la evolución de su progreso a medida que se obtienen valores reales (frente a los estimados en primer término). Por ello, herramientas de planificación y gestión que permitan el monitoreo son importantes para respaldar las decisiones a tomar en los proyectos.

Por sí mismos, los indicadores de un proyecto evalúan en primer término su idoneidad. Sin embargo, su punto a favor reside en que permiten la comparativa entre proyectos y determinar así la decisión o los puntos a favor entre una y otra opción.

Centrándose en los resultados obtenidos para los casos prácticos presentados con anterioridad, los valores arrojan situaciones equilibradas entre ambos proyectos. Empezando por los indicadores económicos, se comprueba una clara diferencia para el LCOE, o coste constante por unidad de generación, donde el Proyecto B prácticamente dobla en coste al Proyecto A. Ambos proyectos presentan un LACE positivo, 0,87 €/kWh para el Proyecto A y 0,678 €/kWh para el Proyecto B, por lo que se puede decir que ambos proyectos reemplazan el coste de generación ya existente y resultaría beneficiosa su implementación.

La relación coste-beneficio RCB es positiva para ambos casos, siendo superior para el Proyecto A (9,95) que para el Proyecto B (5,17). Es decir, en ambos casos los beneficios netos de llevar a cabo el proyecto son superiores a los costes.



En cuanto a la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial (Periodo de Retorno de la Inversión-PRI), la balanza se inclina hacia el Proyecto A por tener el PRI un valor de 15 años, aunque el Proyecto B presente un valor muy similar (18 años).

Tanto para el caso fotovoltaico como para el caso eólico, los resultados que presentan VAN y TIR invitan a la ejecución del proyecto, estando en ambos casos en esta situación:

- Si  $TIR > k$ , el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno obtenida es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

$$TIR_A = 4,09\% - TIR_B = 4,33\%$$

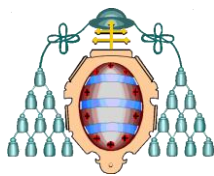
- $VAN > 0$ . El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

$$VAN_A = 1597411 \text{ €} - VAN_B = 1087615 \text{ €}$$

Por su parte, de los cuatro Indicadores Sociales definidos en la base teórica, se han podido analizar dos de ellos. Tanto el indicador de riesgo sanitario como el vinculado a las afecciones y muertes derivadas no se han podido aplicar por no disponer de los datos necesarios para su cálculo. A pesar de ello, si se puede establecer una comparativa en términos ambientales con los indicadores de empleo y aceptación.

Ambos proyectos generan empleo, tanto directo como indirecto, por lo que en términos laborales resulta interesante su implantación, generando el Proyecto A casi 30 empleos más por MW instalado que el Proyecto B.

Del mismo modo, ambos proyectos cuentan con un gran respaldo social previo, por parte de todos los agentes involucrados. Las Tablas 5 y 12 recogen los principales aspectos que valoran los involucrados para la aceptación social de cada tecnología de aprovechamiento.



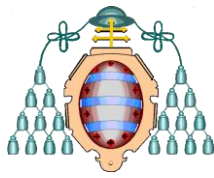
Si se analizan los Indicadores Ambientales, a excepción del vinculado al Agotamiento del Recurso, que por tratarse de dos renovables no es relevante ni aplica su estudio, tanto el vinculado a la huella de carbono como el vinculado al uso del terreno traen resultados dispares.

Si bien es cierto que el GWP para el Proyecto A presenta un valor del orden de diez veces mayor que para el Proyecto B, esto puede explicarse bien en términos de producción anual (mucho mayor en el Proyecto A) o bien por el periodo analizado en su Análisis de Ciclo de vida. En cuanto a la ocupación de terreno, para la misma ubicación del emplazamiento, el Proyecto B presenta una ocupación menor del área de suelo, con un valor de  $81 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{año}}{\text{MWh}}$  frente a los  $112 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{año}}{\text{MWh}}$  con los que cuenta el Proyecto A.

En lo relativo a los indicadores vinculados a la producción energética de la instalación, el Proyecto B presenta un EPB (energía primaria durante la producción, operación, transporte y desmantelamiento del proyecto con el fin de proporcionar un servicio o producto de interés) de 142 MWh/año, lo que supone un 1,1 % del total producido, frente al 0,77 % del total producido que presenta el Proyecto A (3113,01 MWh/año).

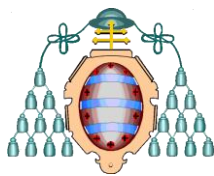
A pesar de que este último presenta un consumo mayor, el porcentaje frente al global resulta mejor, aunque similar, al del caso eólico.

Tanto el RATE (cantidad de energía obtenida,  $E_{\text{GENERADA}}$ , respecto a la cantidad de energía invertida en dicho proceso de generación,  $E_{\text{RECURSO}}$ ) como el EES (donde, acudiendo a su definición,  $E_{\text{GENERADA}}$  es la energía producida que retorna al conjunto de la sociedad y  $E_{\text{RECURSO}}$  es la energía empleada tanto directa como indirectamente en producir  $E_{\text{GENERADA}}$ ) cuentan con valores positivos para ambos casos, siendo la relación el doble para el Proyecto A (100:1) frente al Proyecto B (55:1).



Asimismo, ambos proyectos presentan valores muy similares para el periodo que el proyecto necesita estar en operación para generar la cantidad equivalente de energía que necesita para implantarse (TRE). En el caso eólico es de 0,011 años, mientras que en el fotovoltaico de 0,008 años. Es decir, el tiempo de retorno es menor para el Proyecto A que para el B.

Finalmente, tras la presentación de los resultados obtenidos para los indicadores planteados, se está en posición de afirmar que, a pesar de que ambos proyectos presentan valores positivos que respaldarían la ejecución de ambas instalaciones tal y como están planteadas en los casos prácticos, se concluye la puesta en marcha del Proyecto A Planta Solar Fovoltaica por obtener mejores valores en su cómputo general en todos los aspectos evaluados.



## 11. CONCLUSIONES.

La selección del sistema más adecuado según las condiciones que rodean al proyecto es indispensable, por lo que establecer una base que permita la comparación entre distintas opciones tecnológicas resulta obligatorio. Además, en el momento de decidir la implantación o no de una planta, los responsables que manejen los criterios de decisión deben de ser conscientes de condiciones no palpables que rodean al proyecto: condiciones socioeconómicas, recursos, ubicación geográfica o impacto en las instalaciones existentes, entre otros.

El objetivo de este estudio es el de establecer y definir un conjunto de indicadores que permitan la evaluación de un proyecto energético en términos de competitividad y desarrollo sostenible, englobando así todos los aspectos principales que interfieren en la implementación de un proyecto.

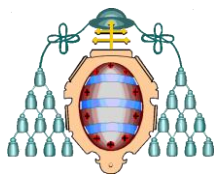
A pesar de que este estudio se ha enfocado a proyectos energéticos a gran escala, a lo largo del análisis realizado sobre los distintos KPI presentados se ha comprobado cómo su aplicación también es posible en proyectos de instalaciones de distintos fines o a menor escala.

Por un lado, en cuanto a indicadores tecnológicos, *EES* tiene su campo principal en su aplicación a todo proyecto de generación energética que aproveche materias primas agotables o de capacidad de renovación limitada. *EER*, análogamente, se emplea en la valoración de cualquier sistema de aprovechamiento que emplee recursos no renovables.

Por otro lado, en cuanto a indicadores económicos, es posible emplear todos en la evaluación de cualquier proyecto de generación energética con dos excepciones, ya que los indicadores *LCOE* y *LACE* centran su aplicación en proyectos con instalaciones energéticas destinadas a generación eléctrica.

Indicadores como *TRE* o *LCOE*, tecnológico y económico respectivamente, toman el dato de la producción anual de energía como un valor constante a lo largo del ciclo de vida de la planta, lo que se contrapone a la situación real, donde las plantas de producción modulan en base a demanda.





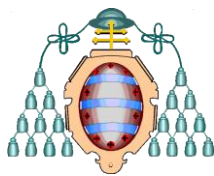
Por su parte, *LCOE* se usa en la comparación directa entre proyectos con distintas tecnologías de producción, pero no entra en valor para su análisis dónde se produce o cómo. Asimismo, *LCOE* y *RATE* se definen siguiendo la relación de costes totales sobre producción neta de la energía generada y viceversa.

Existe un punto clave a afrontar a la hora de realizar estudios de competitividad con indicadores: disponibilidad de datos. Es importante conocer la accesibilidad que tenemos a los datos necesarios para poder realizar el análisis. Es habitual contar con el know-how obtenido a través de proyectos previos, ya que es importante contar con los datos de diversas vías que aporten puntos de vista y valores distintos, ampliando así la casuística.

Otro parámetro a considerar es el nivel de desarrollo tecnológico. Se considera un indicador crítico que engloba datos más allá de los de carácter físico. Aquí, es importante mencionar que sobre el proyecto influirán condiciones externas que se escapan al control del mismo, como las condiciones macroeconómicas del país o las condiciones de avance tecnológico.

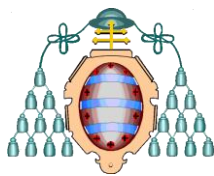
En cuanto a los casos prácticos analizados, se han estudiado dos proyectos de generación con energías renovables a implantar en Asturias. Tras los resultados de KPIs obtenidos, se puede concluir que ambos proyectos resultan competitivos y beneficiosos, destacándose el Proyecto A sobre el B por presentar este mejores resultados basados en la producción energética. En este caso, la posibilidad de generar 100 veces más energía de la que consumes para producirla, para la misma área de uso de la instalación, resulta determinante.

Con este documento, la intención ha sido la de agrupar indicadores de competitividad y sostenibilidad que permitan y respalden un análisis completo de un proyecto de generación energética. Como fin último, este grupo de indicadores presentados supone una base de actuación y decisión a la hora de la toma de decisiones en la implementación o no de un proyecto. Está en posición de decirse, que un paso natural que completaría este análisis conllevaría, además de la exposición y definición de los KPI, una metodología que establezca su orden de aplicación y valores mínimos o máximos (críticos) asumibles, reforzando así por completo la selección de tecnologías competitivas a implementar para el proyecto.

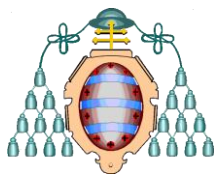


## 12. BIBLIOGRAFÍA

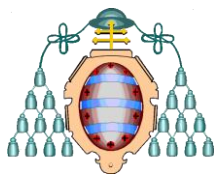
- [1] Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. Gobierno de España.  
[www.agenda2030.gob.es](http://www.agenda2030.gob.es)
- [2] Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas.  
Horizonte 2030. Objetivos de desarrollo sostenible. The Sustainable Development Goals Report.
- [3] Organismo Internacional de Energía Atómica, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía, Eurostat, Agencia Europea de Medio Ambiente.  
Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y Metodologías.
- [4] Laura García Martín, Francisco Fernández-Daza Mijares. Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Pontificia de Comillas.  
Estudio Comparativo de diferentes tecnologías renovables en un horizonte 2020.
- [5] Documentación de la asignatura Ingeniería Sostenible, Máster Universitario Oficial en Dirección de Proyectos.  
Universidad de Oviedo.
- [6] Onat N, Bayar H.  
The sustainability indicators of power production systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [7] Elena Claire Ricci, Alessandro Banterle.  
Do major climate change-related public events have an impact on consumer choices?
- [8] Evelyn Heylen, Geert Deconinck, Dirk Van Hertem. Renewable and Sustainable Energy Reviews.  
Review and classification of reliability indicators for power systems with a high share of renewable energy sources.
- [9] Nathan L., Walker A., Prysor Williams, David Styles.  
Key Performance Indicators to explain Energy & Economic efficiency.



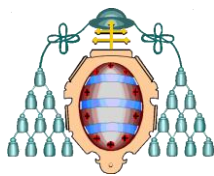
- [10] Ryan A. McManamay, Esther S. Parish, Christopher R. DeRolph.  
A dataset of eco-evidence tools to inform early-stage environmental impact assessments of hydropower development.
- [11] Gang Liu, Mengsi Li, Bingjie Zhou, Yingying Chen, Chengming Liao.  
General Indicator for techno-economic assessment of renewable energy resources.
- [12] T. Van Gerven, C. Block, J. Geens, G. Cornelis, C. Vandecasteele.  
Environmental response indicators for the industrial and energy sector in Flanders.
- [13] Xiangxiang Sun, Xiaoliang Zhou, Zhangwang Chen, Yuping Yang.  
Environmental efficiency of electric power industry, market segmentation and technological innovation Empirical evidence from China.
- [14] Luisa F. Cabeza, Esther Galindo, Cristina Prieto, Camila Barreneche.  
Key performance indicators in thermal energy storage: Survey and assessment.
- [15] Diakoulaki D., Karangelis F.  
Multicriteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for power generation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [16] S. Longo, M. Mauricio-Iglesias, A. Soares, P. Campo.  
Enerwater – A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants.
- [17] Martin Colla, Anastasia Ioannou, Giorgia Falcone.  
Competitiveness Indicators for Energy Projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [18] Stein EW.  
A comprehensive multicriteria model to Rank electric energy production technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [19] Shahid Hussain Siyal, Dimitris Mentis, Mark Howells.  
Mapping key economic indicators of onshore wind energy in Sweden by using a geospatial methodology.
- [20] Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides, Petra Amparo.  
Key Performance Indicators approach in buildings renovation for the sustainability of the built environment: a review.



- [21] Elena González, Emmanouil M. Nanos, Helene Seyr, Laura Valdecabres.  
Key Performance Indicators for Wind Farm Operation and Maintenance.
- [22] Dimitrios-Sotirios Kourkoumpas, Georgios Benekos, Nikolaos Nikolopoulos.  
A review of key environmental and energy performance indicators for the case of renewable energy systems when integrated with storage solutions.
- [23] Lu Yu, Bing Xue, Stefan Stückrad, Heiko Thomas, Guotian Cai.  
Indicators for energy transition targets in China and Germany A text analysis.
- [24] Roozbeh Feiz, Maria Johansson, Emma Lindkvist, Jan Moestedt.  
Key performance indicators for biogas production and methodological insights on the life-cycle analysis of biogas production from source-separated food waste.
- [25] Chaouki Ghenai, Mona Albawab, Maamar Bettayeb.  
Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARAARAS hybrid method.
- [26] Luane Schiochet Pinto, Daywes Pinheiro Neto, Anésio de Leles, Elder Geraldo.  
An alternative methodology for analyzing the risk and sensitivity of the economic viability for generating electrical energy with biogas. Renewable Energy.
- [27] Alten Energías renovables – Alten Energy  
Evaluación de los impactos sociales de plantas de generación energética en zonas geográficas de población diferenciada.
- [28] Dombi M, Kuti I, Balogh P.  
Sustainability assessment of renewable power and heat generation technologies. Energy.
- [29] Luiz Amilton Peplow, Vander Luiz da Silva, Roberto C. Betini, Thulio C. G. Pereira.  
Evaluation of Global Heating Reduction Potential with the Replacement of Electricity Supplied by the Local Concessionaire Via Solar Renewable Source.
- [30] Namovicz C.  
Assessing the economic value of new utility scale renewable generation projects.



- [31] Ministerio de Energía - Gobierno de Chile, Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear - República Federal Alemana, Deloitte Group.  
Aceptación Social de Proyectos de Generación de Energías Renovables.
- [32] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía -IDAE.  
Estudio Técnico PER 2011-2020. Empleo asociado al impulso de las energías renovables.
- [33] Spehr Marzi, Luca Farnia, Shouro Dasgupta, Jaroslav Mysiak, Arturo Lorenzoni.  
Competence analysis for promoting energy efficiency projects in developing countries: The case of OPEC.
- [34] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OECD.  
Society at a glance 2019
- [35] Centro Nacional de Energías Renovables - CENER. Área de Energía y Cambio Climático.  
Informe Técnico. Tecnología Solar Fotovoltaica. Evaluación Medioambiental, de Salud y Seguridad.
- [36] Unidad Corporativa de Medio Ambiente y Sostenibilidad -Naturgy Group.  
Informe anual de impacto. Huella de Carbono.
- [37] Miguel Ramos Rodríguez, Maria Victoria Merino Sanz. Departamento de Energía y Combustibles.  
Diseño y Análisis Económico-Financiero de una instalación Eólica Onshore de 99 MW.
- [38] Antonio Palomo Hijano, Isidoro Lillo Bravo. Departamento de Ingeniería Energética.  
Análisis Estadístico de Incidencias en la Operación de Plantas Fotovoltaicas.
- [39] Carlos Roselló García, Miguel Ángel Sánchez Romero, Paula Gisbert Garrido. Universidad Politécnica de Valencia.  
Proyecto de una Planta Fotovoltaica de 1MVA nominal conectada a la red de distribución de la provincia de Alicante.
- [40] ITU General Specifications and Key Performance Indicators.  
[www.itu.int](http://www.itu.int)



- [41] SMART 2020.  
Enabling the low carbon economy in the information age. The Climate Group and Global eSustainability Initiative.
- [42] EnerCapital Developments, Unión Española Fotovoltaica - UNEF.  
Desarrollo de Plantas Fotovoltaicas.  
[www.enercapital.es](http://www.enercapital.es)
- [43] Acciona Energía.  
Cadena de valor en desarrollo, construcción y O&M de parques y gestión y venta de energía.  
[www.acciona-energia.com](http://www.acciona-energia.com)
- [44] Divulgación y Desarrollo - Factor Energía.  
Energía Eólica. Bases de funcionamiento e implantación.  
[www.factorenergia.com](http://www.factorenergia.com)
- [45] Siemens Gamesa Renewable Energy.  
Términos Económicos asociados a Proyectos de Generación Energética.  
[www.siemensgamesa.com](http://www.siemensgamesa.com)
- [46] Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico - REVE, Asociación Empresarial Eólica - AEE.  
Indicadores en producción eólica y otras renovables.  
[www.evwind.com](http://www.evwind.com)
- [47] Departamento de Ingeniería Eléctrica - Universidad Católica de Chile.  
Costo de abatimiento de nueva energía LACE y Costo de desarrollo de la energía LCOE. Vías para determinar la entrada de tecnologías al sistema eléctrico.
- [48] Comunicación Asociación Empresarial Eólica - AEE.  
Potencial de implantación de la Energía Eólica - Actualidad Eólica.
- [49] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE.  
Estudios, Informes y Estadísticas en Energía.
- [50] Creara Energy Experts.  
La importancia de los KPI en la Gestión Energética.