

MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS: INVERSIÓN, RIESGO O NECESIDAD

MINI HYDROELECTRIC POWER STATIONS: INVESTMENT, RISK OR NECESSITY

GERMÁN MARTÍNEZ MONTES. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Profesor del Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S. de Ingenieros de Caminos- Universidad de Granada.
german00@ugr.es.

MARÍA DEL MAR SERRANO LÓPEZ. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.
Responsable de Proyecto del IDAE, Departamento Hidroeléctrico. mserrano@idae.es

RESUMEN: Los compromisos adquiridos a nivel mundial, a partir de la Cumbre de Río y de la firma del Protocolo de Kioto, ha obligado a la Unión Europea y a España a la formulación de políticas energéticas con una planificación que fomente e incentive las energías renovables y por tanto la hidroeléctrica para conseguir frenar los efectos de la contaminación y el consiguiente cambio climático. En el presente artículo se formulan las singularidades de los estudios de viabilidad de las inversiones en materia de Minicentrales Hidroeléctricas, detectando la necesidad de introducir en los mismos el concepto de riesgo así como el agilizar procesos administrativos que en la actualidad frenan nuevas actuaciones o rehabilitaciones de las ya existentes

PALABRAS CLAVE: ENERGÍAS RENOVABLES, MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS, VIABILIDAD DE PROYECTOS

ABSTRACT: The obligations taken on at an international level in the wake of the Rio Summit and the signing of the Kyoto Protocol, have forced the European Union and Spain to prepare energy policies which promote and develop renewable energies including hydroelectricity in order to halt the effects of pollution and ensuing climatic change. The present article describes the characteristics of investment viability studies regarding Mini Hydroelectric Power Stations and underlines the need to introduce a risk concept within the same and to change administrative processes which currently restrict new construction or rehabilitation of existing plants.

KEYWORDS: RENEWABLE ENERGY, MINI HYDROELECTRIC POWER STATIONS, PROJECT VIABILITY

1. INTRODUCCIÓN

El sector energético es un elemento básico del desarrollo global de la economía mundial, su evolución se fundamenta en hacer compatible la calidad del servicio con la mejor asignación de éste, como único medio para sentar las bases de crecimiento económico estable y sostenido. Dicha consideración ha sido remarcada por el Ministerio de Economía [1] «El Sector Energético constituye una parte esencial de la actividad económica de un país siendo un elemento dinamizador de mismo, así como, supone un valor estratégico innegable al resto de los sectores de la economía. Por ello, el

1. INTRODUCTION

The energy sector is an essential element for the global development of the world economy. The sector has to evolve in such a way as to make service quality completely compatible with improved allocation of energy sources, this being the only means of establishing the foundations for sustained and stable economic growth. This benchmark has been referred to by the Spanish Ministry of Economy in the following manner [1] "The Energy Sector forms an essential part of the economic activity of a country and serves as the engine for the

Se admiten comentarios a este artículo que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de octubre de 2004.

Recibida: mayo/2004. Aprobada: mayo/2004.

suministro energético en condiciones óptimas de seguridad, calidad y precio es un objetivo irrenunciable en la definición de la política energética de un país».

El impacto medioambiental de la generación eléctrica mediante fuentes convencionales de energía no se limita a la emisión a la atmósfera de gases efecto invernadero, aun cuando la reducción, o contención del crecimiento, de estas emisiones constituye una prioridad para todos los países firmantes del Protocolo de Kioto [2].

En el ámbito europeo y como respuesta a esta nueva situación surgen los Programas de Acción en materia de Medio Ambiente, siendo el que está actualmente en vigor el VI Programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de Medio Ambiente (2001) «Medio Ambiente 2010: el futuro en nuestras manos» [3].

Este inicio para la integración de las consideraciones de energías renovables como uno de los objetivos prioritarios de la política energética europea, se oficializa en la publicación del Libro Verde de la Comisión Europea, enero 1996, «Energía para el futuro: fuentes de energía renovables - Libro Verde para una estrategia comunitaria», analizadas las respuestas se editó el Libro Blanco «Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables», reflexión del primer Libro Blanco en el que se define el medio ambiente, la seguridad de suministro y la competitividad como los tres principios en los que se asienta la política energética europea.

En respuesta a los nuevos condicionantes del sector, la política energética española persigue la integración de los aspectos medioambientales de la energía, con la imbricación de la protección medioambiental en las nuevas Leyes del Sector Eléctrico, Ley 54/1997, y con la creación de Órganos específicos, como es el caso del Consejo Nacional del Clima, que tiene como objetivos analizar y definir la estrategia española frente a los compromisos asumidos por la firma del Protocolo de Kioto. Igualmente se aprueba el Plan de Fomento de las Energías Renovables que pretende elevar en el año 2010 la participación de dichas energías al 12% del abastecimiento total.

Según se expone en el Plan de Fomento de las Energías Renovables (1999) «España ha adquirido el compromiso de no incrementar las emisiones de gases invernadero por encima del 15% en el año 2010, con respecto a las emisiones totales del 1990».

El 23 de diciembre de 1998 se aprueba el Real Decreto 2818/1998, sobre Producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración, que desarrolla el Régimen Especial del Sector Eléctrico. Este real Decreto desarrolla reglamentariamente la Ley 54/1997 en lo que se refiere a régimen especial, no sólo prevé la actualización de primas en función de una serie de variables debidamente ponderadas, actualización que se ha realizado para el año 2002 por tercer año consecutivo, sino la revisión de las primas cada cuatro

same. The sector has irrefutable strategic value for all other economic sectors and, subsequently, the definition of a country's energy policy must, out of necessity, consider an energy supply with optimum safety, quality and price conditions».

The environmental impact of electricity generation by conventional sources of energy is not merely limited to the emission of greenhouse gases into the atmosphere, even though the reduction or restrained growth of these emissions is a priority for all the signatory countries of the Kyoto Protocol [2].

In Europe and in response to this new situation, Environmental Action Programmes have been established and in this regard the European Community is currently embarked on their 6th Environment Action Programme (2001) "Environment 2010: Our Future, Our Choice [3]".

This initiative for the integration of renewable energies forms one of the priority objectives of European energy policy and was officially established on the publication in January 1996 of the European Commission Green Paper "Energy for the future: Sources of renewable energy - Green Paper for Community strategy". After analyzing the response the White Paper was issued "Energy for the future: Sources of renewable energy". This first White Paper defined the environment, safe supply and competitiveness as the three principles on which to base European energy policy.

In response to the new conditions regarding the sector, Spanish energy policy has sought to integrate environmental aspects concerning energy through the publication of new laws for the Electricity Sector (Act 54/1997) and by creating new watchdog committees. This is the case of the National Climate Council which is entrusted with analyzing and defining Spanish strategy with respect to the obligations undertaken by the signing of the Kyoto Protocol. A Renewable Energy Development Plan has also been passed with the intention of raising the percentage share of renewable energies to 12% of total supply by the year 2010.

The Renewable Energy Development Plan (1999) indicates that "Spain has undertaken to limit the growth of greenhouse gas emission by 2010 to no more than 15% of total emissions in 1990".

Royal Decree 2818/1998 was passed on 23 December 1998 regarding the Production of Electricity by supply installations or sources of renewable energies, waste and cogeneration and prepared the way for a Special System of the Electricity Sector. This decree develops the regulations of Act 54/1997 referring to a special system and establishes the backdating of premiums in accordance with a series of duly weighted variables (this revision has recently been backdated for the third year running, though on this occasion with

TABLA 1. CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA / TABLE 1. PRIMARY ENERGY CONSUMPTION

Ktep	2001		2000		1999		1998	
Carbón/Coal	19457	15,2%	21635	17,3%	20519	17,2%	17889	15,7%
Petróleo/Oil	66719	52,2%	64663	51,7%	63041	52,8%	61670	54,0%
Gas Natural/Natural Gas	16405	12,8%	15223	12,2%	13535	11,3%	11816	10,3%
Hidroeléctrica/Hydroelectricity	3526	2,8%	2534	2,0%	2246	1,9%	3103	2,7%
Renovables/Renewable	4776	3,7%	4513	3,6%	4221	3,5%	4060	3,6%
Nuclear/Nuclear	16602	13,0%	16211	13,0%	15337	12,8%	15376	13,5%
Saldo eléctrico/Electricity balance	298	0,2%	492	0,3%	293	0,4%	0,3%	
TOTAL	127783	100,0%	125161	100,0%	119391	100,0%	114207	100,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IDAE/Ministerio de Economía-Dirección General de Política Energética y Minas, 2001.

Source: Prepared on the basis of information from the IDAE (Institute for Energy Diversification and Saving)/Ministry of Economy - Department of Energy and Mines, 2001.

años atendiendo a la evolución del precio de la energía eléctrica en el mercado.

Es de remarcar que en dicho R.D. se establece por primera vez la definición de las instalaciones de productores en régimen especial, distinguiéndose varios grupos (art. 2) en los que se incluye el "b.4 Centrales hidroeléctricas cuya potencia no sea superior a 10 MW".

2. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA MINI-HIDRÁULICA EN ESPAÑA

El consumo de energía primaria en España, según se expone en los datos reflejados en el documento de Eficiencia Energética y Energías Renovables, aumentó en un 2,1 % en el año 2001 con respecto a los consumos del año anterior, este hecho viene dado por la desaceleración económica del año anterior debido a la reducción de la elevada tasa de crecimiento de la demanda energética, establecida en un 4,8 %.

Tal como queda reflejado en la tabla Nº 1 y se expone el documento de Eficiencia Energética y Energías Renovables [4] «los consumos de energías renovables aumentaron su participación en la demanda energética total española del año 2001 hasta un 6,5%, fundamentalmente como consecuencia del aumento de la producción hidroeléctrica, que pasa de representar el 2% del total de los consumos al 2,8% incluyendo todas las plantas de potencia mayor y menor de 10 MW y acogidas, tanto al Régimen Ordinario y Régimen Especial de producción de electricidad».

En España, a finales del año 98, tenía un total de potencia instalada de 1.510 MW, que representan más de un 15% de los aproximadamente 9.800 MW desarrollados a nivel europeo. España ocupa el tercer lugar en tér-

respect to 2002). The decree also considers a four-yearly review of premiums in accordance with the development of electricity prices on the market.

The decree establishes a definition of installations considered under the special system. These being divided into several groups (art. 2) and including "Group b4 hydroelectric plants with capacities of below 10 MW".

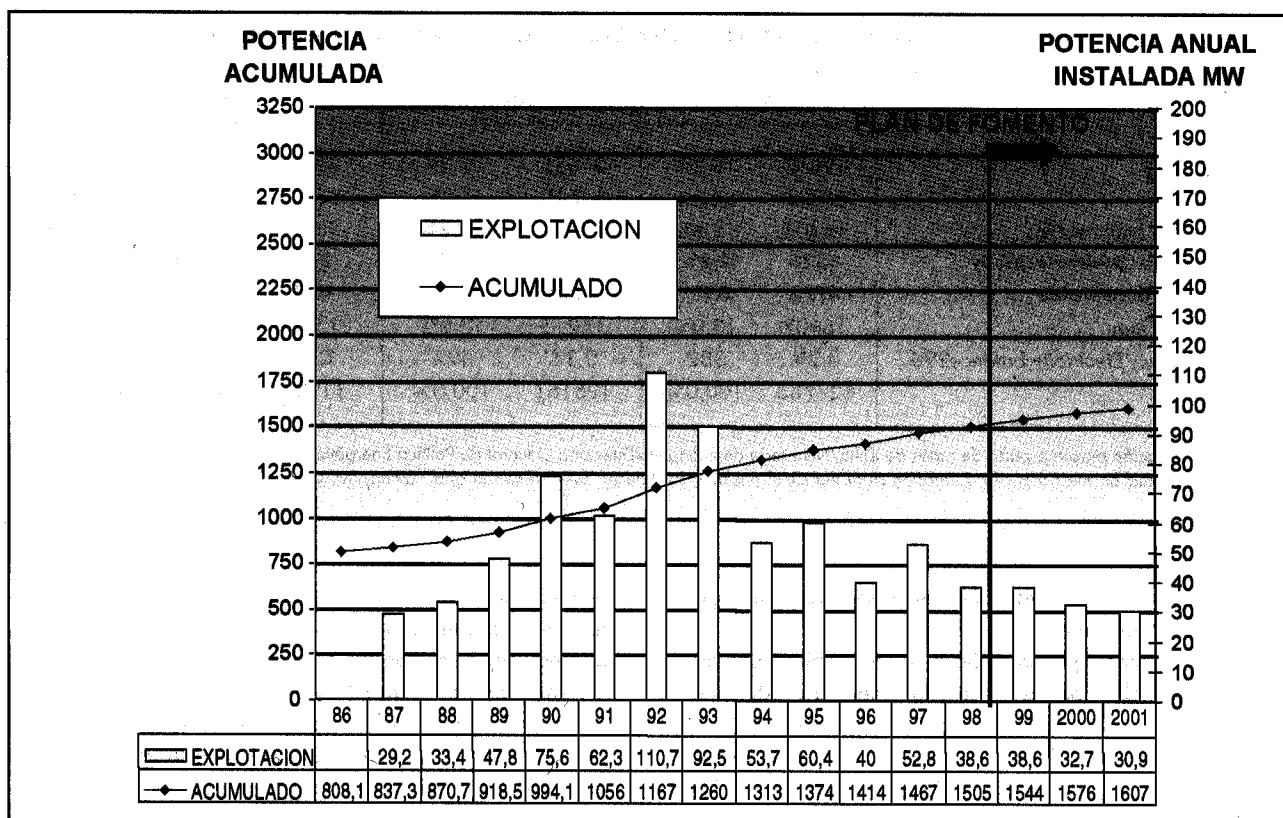
2. STATE OF MINI-HYDROELECTRIC POWER IN SPAIN

In accordance with information contained in the document "Energy Efficiency and Renewable Energies", the consumption of primary energy in Spain rose by 2.1% in 2001 with respect to the previous year. This was accounted for by the slowing down of the economy over the year and which brought to a halt the high growth rate in energy demand previously established at 4.8%.

As reflected in table No.1 above and indicated in the Spanish Ministry of the Economy publication on Energy Efficiency and Renewable Energies [4] "the consumption of renewable energies increased market share with respect to total Spanish energy demand by 6.5% over the year 2001. This was primarily due to a rise in hydroelectricity production from 2% to 2.8% of total consumption, and when including plants with capacities over and under 10 MW pertaining to the Ordinary and Special systems of electricity production".

By the end of 1998, Spain had a total installed capacity of 1,510 MW for power plants under 10 MW which represented over 15% of the approximate 9,800 MW developed at a European level. After Italy and France, Spain has the third largest installed hydroelectric capacity for stations producing less than 10 MW. In the same year, the total installed capacity in Spain in terms of

Gráfico 1.
Evolución de
la Potencia
Hidroeléctrica
(MW) en
España.
Fuente:
Elaboración
propia a partir
de datos de
PLAFER (1999)/
Fig. 1.
Evolution of
Hydroelectric
capacity (MW)
in Spain.
Source:
Prepared on
the basis of
information
from PLAFER
(1999).



menos de potencia hidroeléctrica instalada de menos de 10 Mw, tras Italia y Francia. Para el caso de centrales con más de 10 MW instalados la potencia instalada llegó a un total de 11.523 MW, que representa más de un 13% de los 83.673 MW desarrollados a nivel europeo.

La evolución de la potencia hidroeléctrica (gráfico N° 1) en España se ha desarrollado a un ritmo tal que desde 1.986 hasta 2001 la potencia acumulada total es de 1.607,3 MW, obteniéndose una media de crecimiento anual de 53 MW cada año. Es de destacar los años 1992 y 1993 en los que se superó esta media en más de un 50% debido a que la inversión realizada en ambos, que fue de 117,46 M€ y 86,34 M€ respectivamente.

Las Comunidades Autónomas con mayor presencia de energía hidroeléctrica son Castilla y León, Cataluña, Andalucía, Aragón, Navarra y Galicia (gráfico n° 4). Se trata de una energía renovable que se ha llevado a cabo en todas y cada una de las comunidades autónomas, aunque es destacable la importancia que han tenido hasta la fecha en las comunidades de Andalucía y Castilla y León. En esta última existe una tendencia alcista al desarrollo, en cuanto a potencia hidroeléctrica se refiere, ya que más de un 15% del total de la potencia hidroeléctrica instalada se localiza en esta comunidad autónoma, de igual forma le ocurre a Cataluña con un total del 14% del total de potencia hidroeléctrica ins-

power plants of over 10 MW was 11,523 MW which represented 13% of the European capacity of 83,673 MW.

The evolution of hydroelectric capacity in Spain (Fig. No. 1) has grown at such a rate that between 1986 and 2001 the accumulated total capacity has risen by 1,607.3 MW with an average year-on-year growth of 53 MW. Reference should be made to the years of 1992 and 1993 which exceed this average by over 50% and showed a growth rate of 117,46 MW and 86,34 MW respectively due to the investment made over this period.

The autonomous regions with the highest proportion of hydroelectric energy are Castilla y León, Catalonia, Andalucía, Navarra and Galicia (fig. No. 4). This is a renewable energy which is present in all regions of Spain though particularly prevalent in Andalucía and Castilla y León. This latter region has undergone ever-increasing development in terms of hydroelectric capacity and 15% of the total installed hydroelectric capacity is now concentrated in this region. This region is closely followed by Catalonia with 14% of the total installed hydroelectric capacity. However, the general tendency in the remaining regions is for a decrease in the number of installations.

As may be seen in Fig. 2, the growth of Hydroelectric Power Plants of under 10 MW capacity has been very

talada. La tónica general en el resto de las Comunidades, es al descenso de las instalaciones.

Tal como puede observarse en el gráfico N° 2, resultado del análisis del incremento porcentual de la potencia total instalada, se obtiene que el crecimiento para el caso de Centrales Hidroeléctricas con menos de 10 MW, ha sido muy bajo estableciéndose este en un 2 % para los últimos tres años, desde 1999 al 2001, de la potencia instalada.

De forma menos halagüeña se analiza el crecimiento para el caso de Centrales Hidroeléctricas con potencias entre 10 MW y 50 MW, ya que no se ha producido más que un 0,7% de crecimiento en el año 2001. Este descenso del crecimiento viene derivado de las barreras existentes para llevar a cabo una inversión de una central hidroeléctrica, tanto a nivel administrativo como son: lentitud tramitación expedientes concesionales y autorizaciones de organismos CC.AA, así como los obstáculos para otorgamiento de licencias de obras; como los sociales y medioambientales: Percepción negativa por grupos ecologistas, Falta de criterios objetivos desde el punto de vista ambiental. Y por último financieras: dificultad para financiación de proyectos por la incertidumbre que crea la evolución de las tarifas a medio y largo plazo.

En el Plan de Fomento de las Energías Renovables se establecen los resultados realizados por el único Estudio de Evaluación del Potencial Hidroeléctrico (1) con Centrales de Pequeña Potencia, realizado en 1980 por INTECSA, distribuido por Cuencas Hidrográficas en España. En él, el potencial hidráulico bruto teórico en España está evaluado en 150.360 GWh/año, del cual se obtiene el potencial técnicamente aprovechable que queda en 65.000 GWh/año. De esta cifra, se considera que para las minicentrales el Potencial Hidroeléctrico actualmente desarrollado en España es de 31.600 GWh/año.

Según se plasma en el Plan de Fomento de las Energías Renovables «Obtener dichas cifras es difícil que se cumpla a corto y medio plazo puesto que muchos de los aprovechamientos hidráulicos están situados en tramos de ríos reservados para pesca o incluidos en parques naturales, sin embargo se pueden establecer los siguientes valores según las Cuencas Hidrográficas».

Las previsiones realizadas por el IDAE para el año 2010 están basadas en las siguientes consideraciones, en el caso de las Centrales Hidroeléctricas de ≤ 10 MW, según queda reflejado en el Plan de Fomento la potencia a instalar necesaria para obtener el potencial hidroeléctrico técnicamente aprovechable es del orden de 2.230 MW y la poten-

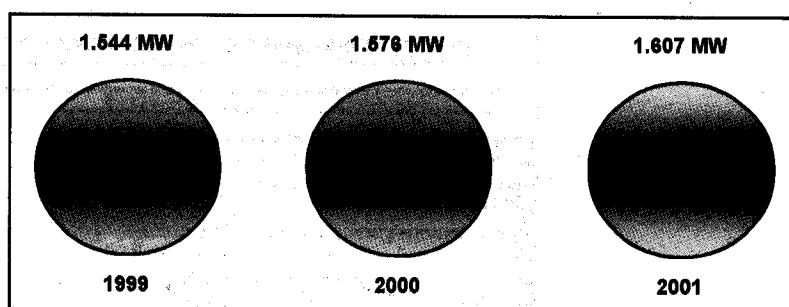


Gráfico 2.
Incremento porcentual de la Potencia Hidroeléctrica (MW) instalada en Centrales Hidroeléctricas < 10 MW.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDAE (2003).
Fig. 2. Percentage increase in installed hydroelectric capacity (MW) in Hydroelectric Power Plants < 10 MW. Source: Prepared on the basis of information from the IDAE (2003).

slow and over the three years from 1999 to 2001 these stations only made up 2% of the installed capacity.

In an even less flattering light, the Hydroelectric Power Stations with 10 to 50 MW capacities only grew by some 0.7% in the year 2001. This diminished growth is the result of the barriers imposed on any investment in hydroelectric power stations. These barriers may come: at an administrative level in the form of lengthy processing of concessions and regional authorization, as well as obstacles in the granting of work licences; at a social and environmental level as a result of negative perception by ecological groups and a lack of objective criteria from an environmental point of view and, finally; from a financial level on account of the difficulty of financing these projects due to the uncertainty surrounding the development of tariffs over the medium and long term.

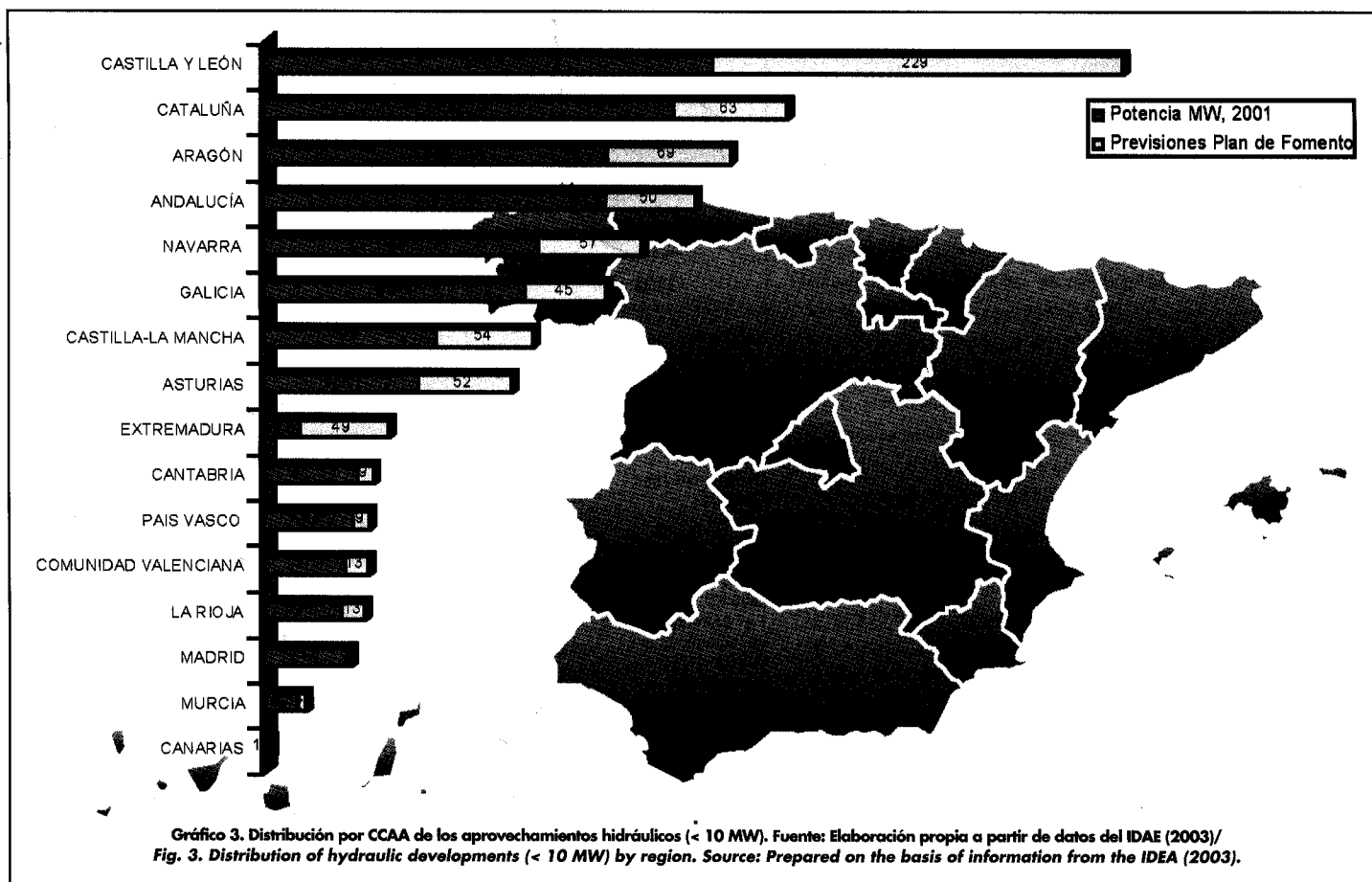
The Renewable Energy Development Plan gave the results of the only Hydroelectric Potential Assessment Study (1) to be carried out on Small Capacity Power Stations according to Water Basin. This study, made by INTECSA in 1980, established that the gross theoretical hydraulic potential in Spain was 150,360 GWh/year which could provide a technically harnessable potential of 65,000 GWh/year. Out of this amount, it is considered that 31,600 GWh/year of hydroelectric potential correspond to mini power stations currently developed in Spain.

In accordance with that indicated in the Renewable Energy Development Plan "It is difficult to obtain these figures in the short and medium term as many of the river developments are set in stretches reserved for fishing or included within natural parks. However, certain values may be established according to Water Basins".

The forecasts made by the IDAE for the year 2010 are based on the following considerations. In the case of hydroelectric plants of under 10 MW and in accordance

(1) «Se denomina potencial teórico o bruto, a la energía que sería capaz de generar el agua en su descenso por los ríos. Esta energía teórica se puede calcular, a partir de los datos del caudal proporcionados por las estaciones de aforos y el desnivel topográfico conocido a través de la cartografía existente». Fuente: IDAE (1996), Manual de energías renovables, Minicentrales Hidroeléctricas.

(1) "The gross or theoretical potential is taken to be the energy capable of being generated by water during its descent through rivers. This theoretical energy may be calculated from flow information provided by river gauging stations and the topographical head established by existing ordinance surveys". Source: IDAE (1996) Manual of renewable energies - Mini Hydroelectric Plants.



cia de fabricación anual en España: 100 MW/año. El objetivo para el año 2010 es el de obtener un incremento de potencia de 720 MW.

Por Comunidades Autónomas, tal como queda reflejado en el gráfico N° 3, las que poseen los objetivos más ambiciosos de instalación de nueva potencia para el 2010 según los datos obtenidos del IDAE son las comunidades de Castilla León (229 MW) y Aragón (69 MW) además de ser las comunidades donde más se ha localizado la nueva potencia Mini-hidráulica.

3. LOS ESTUDIOS DE VIABILIDAD DE MINICENTRALES HIDRO-ELÉCTRICAS

A la hora de concretar la planificación formulada, tanto a nivel europeo como de España, son los Estudios de Viabilidad de los distintos aprovechamientos hidroeléctricos los que van a determinar la toma de decisión en uno u otro sentido [5]. En la actualidad son dos las grandes causas de la apuntada ralentización de la potencia instalada en los últimos años. Por un lado, se presentan las dificultades administrativas derivadas de los procesos concesiona-

with that established in the Development Plan, the necessary installed capacity to obtain the technically harnessable hydroelectric potential is in the region of 2,230 MW and the annual production capacity in Spain equivalent to 100 MW/year. The objective for the year 2010 is to obtain an increased capacity of 720 MW.

When considered region by region, and as indicated in Fig. 3, the areas with the greatest perspectives for additional installed capacity by 2010, according to IDAE sources, are Castilla Leon (229 MW) and Aragon (69 MW). These regions are similarly the concentration points for new mini hydroelectric power plants.

3. VIABILITY STUDIES OF MINI HYDROELECTRIC POWER PLANTS

When planning hydroelectric development in both Europe and in Spain, Viability Studies serve as the cornerstone behind any decision [5]. There are currently two main reasons for the slowing down of installed capacity over recent years. One of these reasons refers to

les de las explotaciones (véase gráfico 5).

En relación con esta primera causa, según se refleja en los documentos de Seguimiento y Propuesta de acciones del Plan de Fomento de las Energías Renovables: «es necesario hacer una revisión de los Reales Decretos 916/1985 y 849/1986 sobre regulación de procedimientos específicos de tramitación unificada para otorgamiento de autorización y concesiones de agua, para poder reducir los periodos de maduración de los proyectos de aprovechamiento, así como, «deberían reducirse los periodos de maduración de los proyectos de aprovechamientos hidráulicos y garantías de viabilidad económica».

Por otro el tradicional enfoque dado a los estudios de viabilidad, en los que los resultados obtenidos se expresan en términos deterministas y de certeza absoluta, existiendo un rechazo cierto por parte de los entes financiadores por la no existencia de la evaluación de riesgo [6].

En este sentido es conveniente la incorporación de instrumentos de evaluación de inversiones que mediante procedimientos establecidos, incorporen el concepto de riesgo a los mismos, ajustando los resultados obtenidos a la realidad de probabilidades esperadas de rendimientos técnicos y económicos. A continuación se propone un método de evaluación (Método de Hertz o de Simulación de Montecarlo) particularizado para los estudios de viabilidad de minicentrales hidroeléctricas y que ha sido contrastado tras el estudio pormenorizado de múltiples centrales en explotación, estudiadas en su día por el IDAE.

4. LA INCORPORACIÓN DEL CONCEPTO DE RIESGO A LOS ESTUDIOS DE VIABILIDAD DE MINICENTRALES HIDRO-ELÉCTRICAS

En una situación de riesgo no es solo importante hacer predicciones para evaluar una inversión y decidir si rechazarla o no, sino poder tomar cursos de acción complementarios que reduzcan las posibilidades de fracaso.

La característica esencial en los proyectos de inversión es que implica la comisión de recursos en el presente con la expectativa de ventajas en el futuro. Estos flujos de liquidez futuros dependerán de una amplia gama de factores, como son:

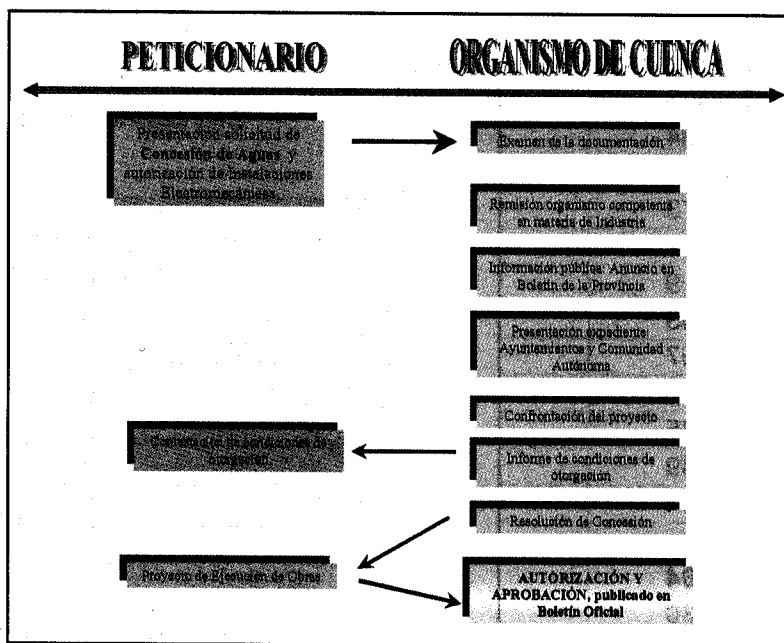


Gráfico 4.
Procedimiento a seguir para obtener una concesión hidroeléctrica
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Real Decreto 916/1985/
Fig. 4. Procedure for obtaining hydroelectricity concession. Source: Prepared on the basis of information taken from Royal Decree 916/1985.

administrative difficulties regarding the concession process of any development (see Fig. 5).

In this regard, and as indicated in documents on the Monitoring and Proposal of actions of the Renewable Energy Development Plan "it is necessary to review Royal Decrees 916/1985 and 849/1986 regarding the specific unified procedure to grant authorization and water concessions in order to reduce the delaying process of development projects and the required guarantees of economic viability".

The second reasons is the traditional focus given to these viability studies and where the results obtained are given in determinist terms and ones of absolute certainty. These results receive a certain degree of rejection from potential financial backers as there is no evaluation of the risk involved [6].

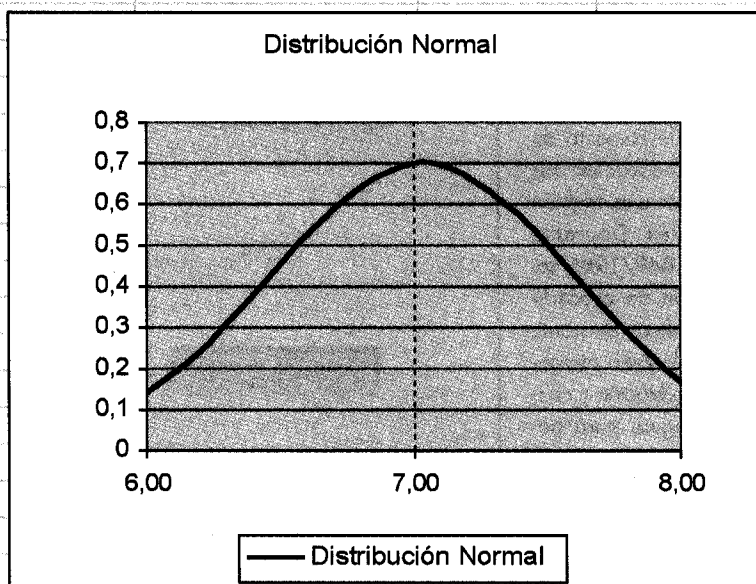
It would be appropriate to include investment assessment measures which follow established procedures and incorporate a risk factor within these studies and which adjust the results obtained to suit the real probabilities regarding technical and economic yield. The authors propose the employment of an assessment method (Hertz Method or Monte Carlo Simulation) adjusted to suit viability studies of mini hydroelectric power stations and which has been statistically tested after the detailed study of many plants earlier assessed by the IDEA.

4. INCORPORATION OF THE RISK FACTOR IN VIABILITY STUDIES OF MINI HYDROELECTRIC POWER STATIONS

In a risk situation it is important to make predictions in order to assess investment, to make decisions and also to enable supplementary courses of action which reduce the possibilities of failure.

The essential characteristic of investment projects is that they imply the payment of resources at the present on the basis of expected returns in the future. The future returns depend on a wide range of factors, including:

Mes	Precio med kwh
ene-00	7,1303
feb-00	7,3684
mar-00	7,6711
abr-00	7,0273
may-00	6,3461
jun-00	6,6519
jul-00	6,7403
ago-00	6,5957
sep-00	7,7345
oct-00	7,7085
nov-00	7,4839
dic-00	6,0144
Promedio	7,0394
Desviación	0,5730
Numero de meses	12



Función distribución normal

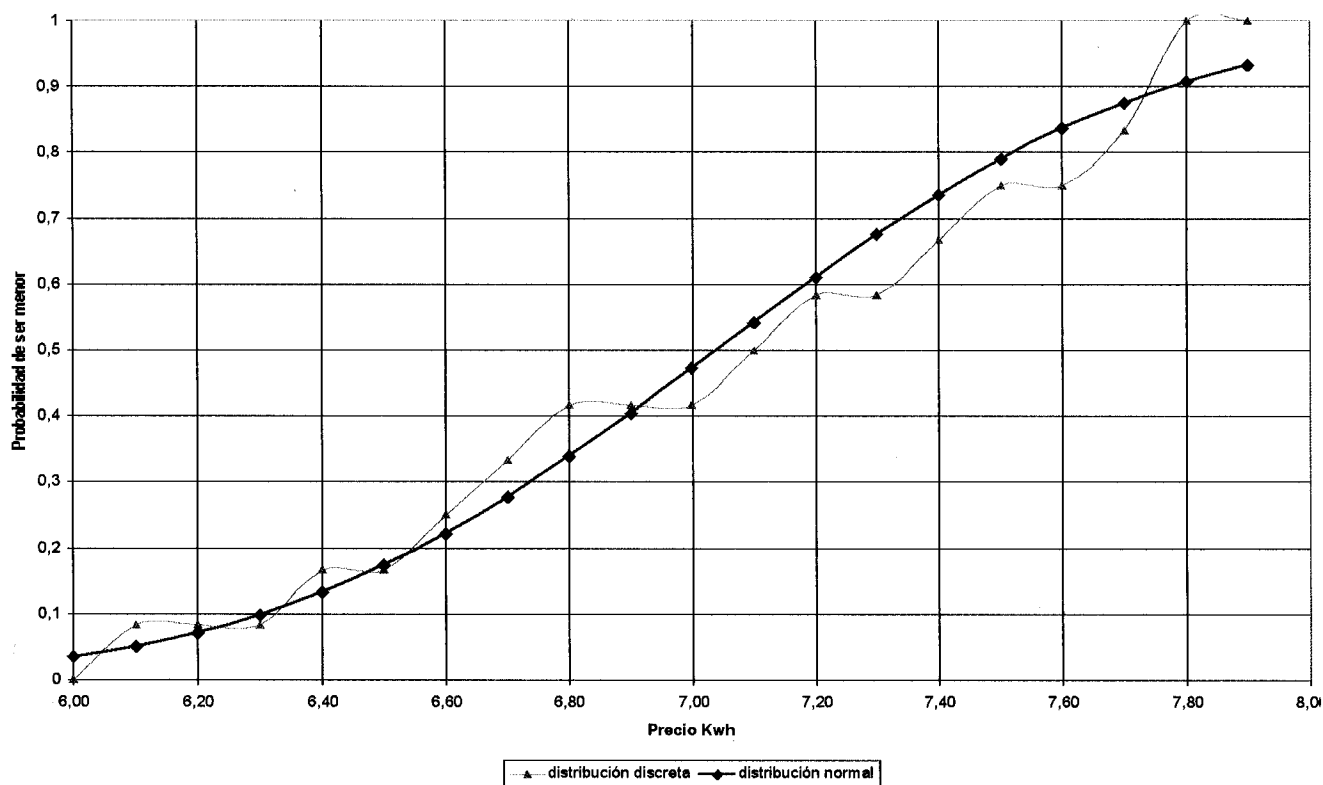


Gráfico 5. Valores y representación de la tarifa media mensual para el año 2000. Fuente: Elaboración Propia/
Fig. 5. Mean monthly tariffs over 2000. Source: Author

- El estado futuro del Sector Energético (Recursos Propios, costes de la inversión, tipos de interés, cambios etc.) y progresos tecnológicos futuros.
- Tamaño de mercado, precio de la tarifa eléctrica en el mercado energético, crecimiento del mercado.

Algunas medidas pueden ser tomadas por los promotores para mejorar la calidad de la información en cuanto al resultado de sus decisiones de la inversión, y así que reduzca su exposición al riesgo. Pero seguirá habiendo un cierto riesgo siempre ya que el futuro no puede ser nunca previsto perfectamente.

Para ello se propone el Método de Hertz [7], el cual lleva a cabo el análisis de la función de densidad a través de un método empírico. Permite realizar un completo estudio de sensibilidad de la rentabilidad de un proyecto mediante la búsqueda de la función de densidad.

Partiendo del conocimiento de las funciones de densidad de cada una de las variables se construye un modelo del proyecto de inversión al definir las posibles relaciones entre estas variables para terminar la función de densidad de la rentabilidad de la inversión.

El método propuesto utiliza las técnicas de simulación y se debe usar mediante herramientas informáticas. El análisis tiene tres etapas:

- Determinar las variables explicativas de la rentabilidad. Cálculo del intervalo de valores para cada una de los factores y dentro de cada rango asignar una probabilidad de ocurrencia de cada valor. En el caso que nos atañe sería:

- Tarifa eléctrica (precio de venta de la energía).
- Inversión necesaria (coste de la obra civil, ingeniería y equipos)
- Costes directos de explotación (gastos de mantenimiento y explotación).
- Producción anual (año hidrológico tipo).
- Duración de la inversión
- Estimación de las funciones de densidad (o en su caso de las distribuciones de probabilidad) de las variables anteriores. Se definirán todas las variable explicativas de la rentabilidad mediante constantes (supuesto que no incorporen riesgo a la rentabilidad), o bien mediante funciones de densidad (o de distribución) para casos continuos y funciones de probabilidad.

- Determinar las interdependencias entre las distintas variables explicativas de rentabilidad. Se realiza la modelización del funcionamiento del proyecto de inversión.
- Simulación de una situación real mediante ordenador y el método de Montecarlo. Reiterar el paso anterior repetidas veces para obtener las probabilidades de ocurrencia de los valores posibles del indicador basado en esto, cal-

- The future state of the Energy Sector (Own resources, investment costs, interest rates, exchange, etc.) and future technological development.
- Market scale, electricity tariff on the energy market, market growth.

Several measures may be taken by promoters to improve the quality of information affecting investment decisions and which reduce the risk factor. However, there will always be a certain element of risk as it is impossible to foresee everything in the future.

The Hertz Method [7] is subsequently proposed as means of making an analysis of the probability density function by following an empirical method. This allows a complete study of the return fluctuation of a project in accordance with the density function.

After establishing the probability density functions for each variable, an investment model is created which defines the possible relation between these variables in order to ascertain the probability density function of investment returns.

The proposed method employs simulation techniques and is computer based. There are three stages to the analysis:

- Establish explicative variables of return. Calculation of interval value for each factor and within each range assign a probability of occurrence for each value. In the case in hand this would be:

- Electricity rate (energy sale price)
- Necessary investment (cost of civil works, engineering and equipment)
- Direct operational costs (maintenance and operation costs)
- Annual production (standard hydrological year)
- Investment period
- Estimation of density functions (or probability distributions) of the preceding variables. All explicative variables of yield shall be defined by constants (in the case of no risk to return), or by density functions (or distribution) for continuous cases and probability functions.

- Establish the interrelationships between the different explicative variables of return. Modelling of investment project operation.
- Computer simulation of real situations using the Monte Carlo method. Reiterate the previous stage various times to obtain the probability of occurrence of the possible indicator values and

TABLA 2: COMPARACIÓN DE LA TIR OBTENIDA EN LOS PROYECTOS PREVISIÓN, REAL Y RIESGO.
TABLE 2: COMPARISON OF FORECASTED, REAL AND RISK IRR

	Proyectos Previsión <i>Forecast</i>	Resultados Reales <i>Real Results</i>	Resultados Evaluación Riesgo <i>Risk Evaluation Results</i>		
Nombre central <i>Power Station</i>	TIR (%) IRR (%)	TIR (%) IRR (%)	TIR Minimum (%) Minimum IRR (%)	TIR Mean (%) Mean IRR (%)	TIR Maximum (%) Maximum IRR (%)
C.H. N° 1	7,82	3,62	4,00	5,90	7,80
C.H. N° 2	5,00	4,15	3,80	4,55	5,30
C.H. N° 3	6,75	4,23	3,95	4,88	5,80
C.H. N° 4	26,52	9,93	17,15	20,65	24,15
C.H. N° 5	4,56	3,47	3,20	4,66	6,12

Fuente: Elaboración Propia

cular el valor esperado y las probabilidades de ocurrencia de ciertos rangos de indicador seleccionados.

La rentabilidad del proyecto de inversión es función de un conjunto de valores, compuesto por un valor por cada variables explicativa de esta rentabilidad, y que en principio serán desconocido por cuanto que lo disponible son sus funciones de densidad o probabilidad.

Una vez analizadas las variables se adoptaron funciones de distribución adecuadas para las mismas, discretas o continuas, que como en el caso de la tarifa eléctrica podían ajustarse a una función de distribución normal (véase gráfico adjunto)

Con esta formulación, se puede proceder a obtener los indicadores de rentabilidad económica que habitualmente se utilizan en la evaluación de inversiones en ingeniería civil. El resultado de dicho cálculo no será un número fijo sino un concepto estadístico dado por la esperanza y la desviación media. En estas condiciones, deberá ser el ente financiador el que interprete y asuma el riesgo que se deriva de esos datos.

Como ejemplo de la aplicación del modelo propuesto, se adjunta en la tabla N° 2, los resultados comparados de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.), para una serie de minicentrales hidroeléctricas, de la estimación realizada en condiciones de certeza (como tradicionalmente se ha realizado), de los resultados reales de explotación y por último los datos correspondientes a la simulación aplicando el modelo.

5. CONSIDERACIONES FINALES

La evaluación de proyectos de inversión, y en especial los relativos a las Minicentrales Hidroeléctricas, deben realizarse siempre desde el contexto que más se acerque a la realidad y este es el derivado de la incertidumbre y el riesgo. En la actualidad y dados los compromisos nacionales e internacionales en relación con las energías renovables, se ha de hacer un esfuer-

then calculate the expected value and the probability of occurrence of certain selected indicator ranges.

The yield of the investment project is a function of a group of values composed of values for each explicative variable of this return and which, at the outset, will be unknown as only their density or probability functions are available.

After analyzing the variables, suitable discrete or continuous distribution functions shall be adopted for the same and which by way of example and in the case of electricity rate could well be adjusted to a function of normal distribution (See figure).

By this method one may obtain the economic return indicator which are habitually employed in the evaluation of civil engineering investments. The result of the said calculation will not be a fixed number but, instead, a statistical concept given by expectancy and mean deviation. In accordance with the results, the financing company should then interpret and assume the risk implied by the same.

Table 2 is enclosed by way of example of the application of the proposed model. The table shows a comparison of Internal Rate of Return (IRR) for a series of mini hydroelectric power plants, according to estimates made under certainty conditions (as is more habitual), the real operating results of the plants and, finally, with the results obtained through applied simulation.

5. FINAL CONSIDERATIONS

The evaluation of investment projects and particularly those related to mini hydroelectric power plants should always be made within a context that is as close as possible to reality and this is always derived from uncertainty and risk. At present and given the national and

zo importante para conseguir llegar a los objetivos marcados a corto y medio plazo. Para ello habrá que eliminar aquellas barreras y situaciones que limitan el crecimiento de inversiones en energías como la minihidráulica, siendo una de las más importantes la derivada de las dificultades financieras. Del análisis de la forma tradicional de evaluación de inversiones se llega a la conclusión que no se ajustaban en absoluto a la situación que se desprende de la explotación de la central durante al menos diez años de funcionamiento. Esta debilidad reside en la consideración determinista de las variables consideradas aleatorias en la evaluación con la introducción del concepto de riesgo, alejándose por tanto de los resultados empresariales esperados y por tanto de la viabilidad de la inversión, pudiendo quedar fuera de servicio por estos motivos.

Por otro lado, el Método de Montecarlo se ha demostrado como una herramienta capaz de generar resultados que delimitan el contexto de riesgo al que se hacía referencia. En el caso de las Minicentrales Hidroeléctricas ha sido a través de las variables aleatorias tarifa eléctrica y producción, generándose resultados financieros con validez estadística, traduciendo la situación de incertidumbre de partida a una situación de riesgo cuantificado.

No obstante y es esencial hacer hincapié, es primordial el exigir la realización de estudios específicos, como es el caso de la determinación de los caudales disponibles, con un suficiente rigor, ya que de otra manera, las desviaciones que se pueden producir exceden las posibilidades reales del método propuesto. Esto se ha puesto en evidencia en relación con la calidad de los estudios hidrológicos aportados en los estudios de previsión, dificultando enormemente conseguir datos que permitan su correcto tratamiento. ■

international undertakings with regards to renewable energies, it is necessary to make a strenuous effort to achieve the short and medium term objectives. It is, therefore, necessary to eliminate the barriers and situations which restrict the growth of investment in energies such as mini hydroelectric power plants, and where one of the most important of these barriers is that of financial difficulties. On considering the traditional form of assessing investment one may come to the conclusion that this does not reflect the real situation of plant operation over at least ten years. The weakness lies in the determinist consideration of randomly considered variables in the introduction of the risk factor and is far removed from the expected company return and, subsequently, investment viability. The entire project may be dismissed on this basis.

The Monte Carlo method has proven to be a useful tool capable of generating results which define the context of risk. In the case of mini hydroelectric power plants this has been established by random variables of electricity rates and production and has given rise to financial results with statistical validity and has changed a situation of initial uncertainty to one of quantified risk.

However, it is of utmost importance to demand specific and precise studies to be made into factors such as available flows, etc., as if this is not the case the deviations which may be produced will exceed the real possibilities of the proposed method. This has been demonstrated by the quality of hydrological studies provided for forecast studies and where it is extremely difficult to obtain information which allows correct processing. ■

REFERENCIAS/REFERENCES

- [1] Ministerio de Economía (2002). Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas. Desarrollo de las Redes de Transporte 2002-2011. Madrid: Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa. Dirección General de Política Energética y Minas.
- [2] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático el 9 de mayo de 1992. New York. La Convención Marco ha sido ratificada por la CE en virtud de la Decisión 94/69/CE de 15 de diciembre de 1993 [Diario Oficial L 33 de 7.2.1994] y entró en vigor el 21 de marzo de 1994.
- [3] COM núm. 31 (2001). No publicado en el Diario Oficial. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, de 24 de enero de 2001, sobre el Sexto programa de acción de la Comunidad Europea en materia de Medio ambiente «Medio ambiente 2010: el futuro está en nuestras manos».
- [4] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2002). Eficiencia Energética y Energías Renovables, N° 5, Febrero 2003. Ministerio de Economía. Madrid.
- [5] WISER, R.H. (2000). The role of public policy in emerging green power markets: an analysis of marketer preference. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4 (2000) 177-212.
- [6] FULFORD, S et al. (2000). Recommendations on the use of micro-hydro power in rural development. *Journal of International Development* 2000; 12:975-83 John Wiley & Sons Ltd.
- [7] HERTZ, D. B. (1964), «Risk Analysis in Capital Investment», *Harvard Business Review*, ene-febr., Vol. 42, N° 1, p 95-106.