

Revista Energética



Energy Magazine

Año 18
número 3
sept.-dic. 1994

Year 18
number 3
Sept.-Dec. 1994



Tema: Informática y desarrollo energético
en América Latina y el Caribe

Topic: Informatics and energy development in
Latin America and the Caribbean

O
olade

REVISTA ENERGETICA

ENERGY MAGAZINE

La Revista Energética es publicada cuatrimestralmente por la Secretaría Permanente de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), bajo la supervisión de su Consejo Editorial. Los artículos firmados son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no expresan necesariamente la posición oficial de la Organización o de sus Países Miembros.

OLADE permite la reproducción parcial o total de estos artículos, como de sus ilustraciones, a condición de que se mencione la fuente. Artículos, comentarios y correspondencia para la Revista Energética deben ser enviados a la Secretaría Permanente de OLADE.

The Energy Magazine is published every four months by the Permanent Secretariat of the Latin American Energy Organization (OLADE), under the supervision of the Secretariat's Editorial Board. The signed articles are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the official position of the Organization or its member countries. To reproduce the present articles in part or in full, as well as illustrations, the source must be quoted. Any articles, remarks, or correspondence regarding the Energy Magazine should be addressed to the Permanent Secretariat of OLADE.

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

Francisco J. Gutiérrez / Yamira Flores Jordán / Carlos Mansilla
Trevor Byer / Alirio Parra
Carlos Miranda Pacheco / Carlos Suárez



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

Edificio OLADE, Avda. Occidental, Sector San Carlos
Casilla 17-11-6413, Quito, Ecuador
Teléfonos: (593-2) 598280/539676; Fax: (593-2) 539684
Télex: 2-2728 OLADE ED

ISBN 0254-845

CONTENIDO

CONTENTS

- 2 Nota del Consejo Editorial
- 2 Note from the Editorial Board
- 3 Presentación
- 4 Presentation ³³²
- / 5 Sistema de Información Económica-Energética (SIEE)
^{ols, diagrs}
- 15 The Energy-Economic Information System (SIEE) ³³³
- / 25 SUPER/OLADE-BID Modelo de Planificación de Generación e Interconexiones de Sistemas Eléctricos para Uso de Empresas Públicas, Privadas e Inversionistas ^{gots, diagrs}
- 41 SUPER/OLADE-BID: Power System Generation and Interconnection Planning Model for Use by Public and Private Utilities and Investors ³³⁴
- / 51 Acondicionamiento de la Información para Construir Modelos Neuronales: Estudio de Caso del Precio Promedio del Crudo OPEC ^{ols, diagrs, grafis}
- 61 Pre-processing Information to Build Neural Models: Case Study of the Average Price of OPEC Crude Oil ³³⁵
- / 75 Sección Estadística de América Latina y El Caribe ^{ols, grafis, diagrs}
- 75 Statistical Section of Latin America and the Caribbean

Nota del Consejo Editorial

El presente número de la Revista Energética está dedicado al análisis de la informática como instrumento de desarrollo del sector energético de América Latina y El Caribe.

Por primera vez se incluyen, en la edición de la Revista, artículos descriptivos y analíticos de dos proyectos desarrollados e impulsados por OLADE: El Sistema de Información Económica-Energética (SIEE) y el Modelo SUPER/OLADE-BID para la Planificación de la Generación e Interconexiones de Sistemas Eléctricos.

También se incluye un artículo sobre el acondicionamiento de la información para construir modelos neuronales, dentro del cual se efectúa el estudio de caso del precio promedio del crudo OPEC.

Forma parte también de esta edición la sección de estadísticas e indicadores económico- energéticos de América Latina y El Caribe.

Note from the Editorial Board

The present issue of the Energy Magazine focuses on informatics as an instrument to develop the energy sector of Latin America and the Caribbean.

For the first time, the magazine is offering descriptive and analytical articles on informatic projects developed and promoted by OLADE: the Energy-Economic Information System (SIEE) and the SUPER/OLADE- BID Model for Power System Generation and Interconnection.

Likewise, we are including an article on Pre- processing Information to Build Neural Models, which provides a case study on calculating the average price of OPEC crude oil.

At the end of this issue, the reader will find a section supplying energy- economic statistics and indicators for Latin America and the Caribbean.

Presentación

El desarrollo del sector energético de América Latina y El Caribe constituye, en la actualidad, un proceso dinámico de extraordinaria importancia estratégica para la Región en su conjunto y para cada uno de sus países.

La dirección de la gestión energética, además de la elaboración de planes y la formulación de políticas, incluye la toma permanente y oportuna de decisiones y, por lo tanto, requiere de un conocimiento lo más completo y actual del entorno y de sus posibilidades.

Por otra parte, la apertura que orienta los procesos de la economía regional multiplica las opciones comerciales y requiere la búsqueda sistemática y permanente de las mejores oportunidades.

Dentro de este contexto, el logro de la competitividad debe sustentarse, necesariamente, en información energética y económica que satisfaga los requerimientos de análisis de cada país y su ubicación e inserción en el ámbito regional y mundial.

El establecimiento de sistemas de información sustentada en el registro sistemático, coherente y consistente de datos del sector económico- energético permitirá a los países conocer en forma adecuada su realidad, facilitará el diagnóstico de los problemas del sector y el análisis de las distintas alternativas de solución.

A través de la relación de datos económicos y energéticos se podrán encontrar indicadores que midan el impacto social de las políticas sectoriales y, en muchos casos, se podrá anticipar los principales efectos de sustitución de fuentes.

Por otra parte, se podrán hacer cuidadosos análisis sobre el comportamiento de la eficiencia energética y la contaminación ambiental en el pasado inmediato, con el fin de introducir correctivos que permitan mejorar la eficiencia, disminuir las pérdidas y aumentar la productividad.

El presente número de la Revista Energética difunde los logros de OLADE en el impulso de los sistemas informáticos convertidos en herramientas del desarrollo energético regional.

FRANCISCO J. GUTIERREZ

Secretario Ejecutivo

Presentation

At present, energy sector development in Latin America and the Caribbean is a dynamic process of the utmost strategic importance for the Region as a whole and for each one its countries.

Energy sector management, in addition to preparing plans and formulating policies, involves timely decision-making and therefore requires a thorough and updated knowledge of the energy situation and its potential.

Moreover, the liberalization currently orienting the Region's economy provides a wide range of commercial options and requires the systematic and permanent search for better opportunities.

Within this context, to achieve competitiveness, it is necessary to rely on energy-economic information that meets the analytical requirements of each country in terms of their insertion in the Region and the world.

The establishment of information systems based on the systematic, coherent, and consistent compilation of energy-economic sector data will permit the countries to learn about their reality, facilitate the assessment of sector problems, and enable the analysis of various alternative solutions.

By linking economic and energy data, indicators that measure the social impact of sectoral policies can be found and, in many cases, the major effects of energy source substitution can be anticipated.

In addition, careful analyses of energy efficiency performance and environmental pollution on the immediate past can be conducted, in order to introduce corrective measures that ensure improvements in energy efficiency, reduction of losses, and increased productivity.

The present issue of the Energy Magazine disseminates the achievements of OLADE in its efforts to give impetus to computer information systems that have been converted into tools for the Region's energy development.

FRANCISCO J. GUTIERREZ

Executive Secretary

Sistema de Información Económico-Energética (SIEE)

Introducción y Antecedentes

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), es una entidad pública internacional de cooperación, coordinación y asesoría, que fue creada el 2 de noviembre de 1973 con la suscripción del Convenio de Lima, el cual fue ratificado por 26 países de América Latina y El Caribe. La sede de la Secretaría Permanente es en la ciudad de Quito, Ecuador.

Los países que la conforman son: *Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Grenada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.*

Entre sus principales objetivos y funciones se pueden citar los siguientes:

- Promover acciones entre los países miembros para el aprovechamiento y defensa de los recursos naturales de sus respectivos países y de la

región en su conjunto.

- Fomentar una política para la racional exploración, explotación, transformación y comercialización, de los recursos energéticos de los Estados Miembros.
- Fomentar la cooperación técnica, el intercambio y divulgación de la información científica, legal y tecnológica.

Con relación a este último punto y a fin de contar con un servicio informativo sistemático, actualizado, consistente y confiable sobre las principales variables económico-energéticas de los países de América Latina y El Caribe, OLADE impulsó el desarrollo del SIEE a partir del año 1988 con apoyo de la Comisión Económica Europea (CEE).

Para alcanzar este objetivo se ha procedido en forma gradual, utilizando una metodología modular, según la cual el diseño y la implantación del SIEE se fueron efectuando por grupos o módulos que se encontraban asociados a determinado tipo de datos.

El SIEE fue concebido como una herramienta al servicio de la Secretaría Permanente de OLADE y de los más altos niveles de decisión de los Países Miembros a efectos de suministrar información energética y económica seleccionada que haga posible su comparación entre países y regiones.

En este objetivo general se destacan las siguientes características:

Servicio a Altos Niveles de Decisión. El sistema está orientado a servir a los más altos niveles de decisión de los Países Miembros, a institutos y gerentes de empresas energéticas, para que dispongan de información seleccionada, capaz de orientar la toma de decisiones en forma rápida y oportuna. El SIEE presta además, un servicio muy importante a los niveles técnicos de los países miembros, los que en general requieren información con mayor nivel de detalle.

Vinculación Sectores Economía-Energía. La información contenida en el SIEE es tanto de carácter energético como económico, haciendo posible la vinculación del sector energía con la economía. De este modo, la elaboración de indicadores que permitan definir la importancia del sector energético dentro de la economía de los países, su relación con el endeudamiento externo, el impacto de los precios internos de los energéticos o las características del financiamiento de proyectos, son sólo algunos ejemplos de los temas que permiten abordar el sistema.

Análisis Comparativo Regional y entre Países. El énfasis del servicio que presta el SIEE se centra en el análisis comparativo entre países y regiones, por considerarse que la información que se genera en este campo sirve de base para impulsar la cooperación y el diseño de políticas regionales. En efecto las similitudes y diferencias entre países o grupo de países han sido elementos de gran valor para propender una planificación energética integral, facilitando además la adopción de políticas internas y proporcionando elementos para una mayor integración regional.

Información Seleccionada. La información contenida en el SIEE es selectiva, evitando el manejo de un gigantesco depósito de datos que satisfaga todas las necesidades imaginables, por lo que se ha seleccionado un conjunto de datos que permitan un servicio ágil, rápido y a la vez confiable.

En este sentido el SIEE no ha sido concebido como una alternativa al desarrollo de sistemas de información nacionales sino como un producto distinto que proporcione un servicio complementario y específico.

Independencia de Sistemas Nacionales. Es necesario destacar también que la implantación del sistema de información regional en OLADE no ha requerido la instalación simultánea de los sistemas nacionales, si bien éste ha sido un objetivo de mediano plazo que la Organización ha venido promoviendo.

La problemática de los sistemas nacionales es de naturaleza diferente, ya que deben profundizarse mucho más en el detalle y desagregación de datos y en la generación de información no existente o en la depuración de información poco confiable mediante encuestas, censos y procedimientos estadísticos de consistencia.

Requerimientos

El sistema está constituido por un paquete de software orientado totalmente al usuario que no requiere conocimientos previos sobre computación.

Equipo necesario:

PC-compatible
640 KB Ram

1 unidad de diskette de cualquier tamaño disco duro con 18 MB de espacio libre Sistema Operativo MS-DOS 3.3 o superior

Mecanismo de Intercambio de Información

Se ha designado una persona en cada país como responsable del Sistema, encargado de la recopilación de información y de la difusión del SIEE.

Con el objeto de mantener la coherencia en los procedimientos utilizados se realizan anualmente "Grupos de Trabajo" con los responsables del Sistema de todos los Países Miembros (Asesores SIEE) donde se discuten los objetivos de cada módulo del Sistema y las metodologías más apropiadas para la recolec-

ción de los datos cuidando la homogeneidad que debe existir en la información de todos los países para facilitar los análisis regionales.

La recolección de datos del sistema se realiza utilizando distintos medios tales como:

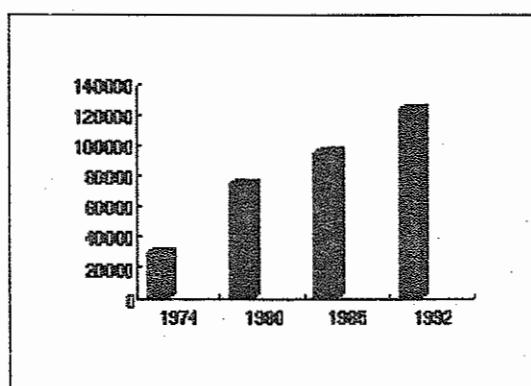
- Formularios mensuales, semestrales y anuales
- Diskettes de entrada de datos por áreas
- Courier, correo aéreo, correo normal, teléfono, fax, telex

Trimestralmente se efectúa la actualización del sistema (fundamentalmente precios internos de los energéticos, tasas de cambio y salarios mínimos)

Contenido del Sistema

Las áreas y módulos que contiene el SIEE son:

I. SIEE-HISTORICO
América Latina y Caribe - Reservas
Probadas
Petróleo - 10(6)bbl



I. HISTORICO PROSPECTIVO

A.1 Precios

M.1 Precios de Referencia

Este módulo hace un seguimiento a los precios mensuales a nivel interno, de importación y exportación desde enero de 1988, en dólares de los Estados Unidos y en monedas nacionales, utilizando unidades seleccionables de medida para gas natural, GLP, gasolina (extra y corriente), gas-oil, kerosene, jet fuel, fuel oil residual, petróleo crudo, carbón térmico y siderúrgico, además de los precios medios de la electricidad en los sectores residencial, comercial, e industrial.

Precios Internos: Precio de un energético al consumidor final, incluidos impuestos. Corresponde al precio de mayor vigencia en un mes en moneda nacional, expresado en US\$ a la tasa de cambio mensual publicada por el Fondo Monetario Internacional (FMI). Si

el precio varía por ciudad o punto de venta del país, se ha seleccionado el de mayor venta.

Precio de Importación: Precios mensuales de importación son CIF y corresponden al promedio mensual, o bien al cargamento más representativo del mes.

Precio de Exportación: Precios mensuales de exportación son FOB y corresponden al prome-

dio mensual, o bien al cargamento más representativo del mes.

M.2 Precios Promedio:

El precio promedio anual de un energético corresponde al promedio ponderado de los volúmenes de venta de todos los precios pagados por los consumidores de ese energético durante el año. Esto es, se calcula estableciendo la relación entre el valor total facturado expresado en dólares, y el volumen vendido.

M.3 Pliegos Tarifarios.-

Este módulo contiene los pliegos tarifarios vigentes de la principales empresas eléctricas de los países, con las tarifas por rangos de consumo y los cargos fijos, expresados en la moneda de cada país.

A.2 Reservas e Inventario de Recursos Energéticos

M.1 Petróleo

Evolución histórica de las reservas e inventario de los principales campos en explotación; en donde se muestra el nombre del campo, su ubicación, profundidad, gravedad media, fecha de descubrimiento, operador, número de pozos productivos y total y, en algunos casos el nivel promedio de producción del campo.

M.2 Gas Natural.-

Contiene la evolución histórica de las reservas de gas natural.

M.3 Carbón Mineral

Evolución histórica de las reservas e inventario de los principales yacimientos.

M.4 Potencial de Hidroeléctricidad

M.5 Potencial Geotérmico

Potencial geotérmico del último año e inventario de los principales campos.

M.6 Potencial Eólico

Se presentan valores anuales promedio de la velocidad, potencia media y energía del viento.

M.7 Potencial Solar

Se presenta información sobre parámetros solares utilizados en la estimación de un potencial solar teórico.

M.8 Potencial Bioenergético

Se presenta el potencial bioenergético de leña, de bagazo y por desechos (agrícola, agro-industrial, pecuario y urbano).

M.9 Inventario de Recursos

Corresponde a un inventario de todos los recursos mencionados en los puntos anteriores y para el último año del cual se dispone de la información.

A.3 Oferta/Demanda

M.1 Oferta/Demanda

Contiene información anual a partir de 1970 de los

veinte y seis Países Miembros de OLADE, para nueve energéticos primarios, incluyendo petróleo, gas natural, carbón mineral, hidroenergía, geotermia, combustibles fisionables, leña, productos de caña y otras primarias, así como once energéticos secundarios, incluyendo electricidad, gas licuado, gasolina/alcohol, kerosene y turbo, diesel oil, fuel oil, coques, carbón vegetal, gases, otras secundarias y no energéticos.

Oferta: Contiene los datos anuales detallados sobre producción, importaciones, exportaciones, variaciones de inventario, no aprovechado, oferta total, además de las transformaciones de energía en refinerías, centrales eléctricas, autoprodutores, centros de gas, carboneras, coquerías/altos hornos, destilerías, y otros centros.

Demandas: Cubre la demanda de energía en siete sectores claves de la economía: transporte, industria, residencial, comercial/servicios/público, agro/pesca/minería, construcción/otros y no energético.

M.2 Mercado Petrolero

En este módulo se registran los intercambios anuales (a partir de 1988) de crudo y derivados entre los Países Miembros de OLADE, y también los volúmenes que se dirigen a y se reciben de otras regiones del mundo.

M.3 Balance de Energía

Este módulo permite la elaboración de la matriz energéti-

ca o balance energético consolidado para cualquier combinación de países, facilitando la consulta de nuevos bloques económicos en formación de la Región. Los balances son individuales, consolidados o regionales.

M.4 Balance de Electricidad

En este módulo la generación eléctrica es detallada por tipo de planta (nuclear, hidroeléctrica, geotérmica, turbovapor, turbogas, diesel, etc.); se muestra también la potencia instalada nominal y efectiva, y las horas de utilización. Se indican los consumos propios, los consumos de combustible y las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución. La información que contenida en este módulo es aún muy escasa y por lo tanto se la debe considerar como preliminar.

A.4 Equipamiento e Instalaciones Energéticas

M.1 Sector Eléctrico

Contiene información sobre la evolución de la capacidad instalada en centrales eléctricas para los sectores público y autoproprietario, por tipo de planta (hidráulica, térmica vapor, turbo gas, diesel, geotérmica y nuclear); se tiene además un inventario de las principales centrales eléctricas.

M.2 Sector Hidrocarburos

Contiene información sobre la evolución de la capacidad instalada en:

Refinerías por tipo de destilación, además de un inventario por refinería (nombre, ubicación, operador y capacidad)

Plantas recuperadoras de gasolina y GLP además de un inventario por planta (nombre, ubicación, operador y capacidad)

Capacidad de almacenamiento de hidrocarburos para el último año disponible, además de un inventario por centro de almacenamiento (nombre, ubicación, operador y capacidad por tipo de combustible)

Oleoductos/poliductos/gasoductos, un inventario de los principales ductos (tipo, nombre, operador, diámetro, capacidad y longitud)

M.3 Parque Automotor

Parque Automotor: Por tipo de vehículo (motocicleta, automóvil privado, taxi, jeep, camioneta, camión liviano, camión pesado, autobus pequeño, autobus grande urbano, autobus grande interprovincial y otros vehículos) y por tipo de combustible que utilizan (gasolina, alcohol, diesel, gas natural y gas licuado).

Parámetros de Operación: Capacidad, consumo, recorrido y factor de ocupación, por tipo de vehículo y combustible empleado.

La información que contiene este módulo es aún muy escasa y por lo tanto se la debe considerar como preliminar.

A.5 Economía General

M.1 Demografía y Estadísticas Económicas

Demografía: Presenta series de población total, tasa de crecimiento poblacional total, población urbana, población económicamente activa total y por sectores agricultura, industria y servicios, tasa media anual de desempleo urbano, porcentajes de analfabetismo.

Estadísticas Económicas

Cuentas Nacionales: PIB (total, tasas de crecimiento, por sectores, por tipo de gasto), inversiones.

Comercio Exterior: Exportaciones e importaciones de bienes y servicios, exportaciones e importaciones de petróleo y derivados.

Balanza de Pagos: Saldo de cuenta corriente.

Deuda Externa: Total desembolsada, intereses pagados y devengados, servicio de la deuda efectivamente cancelado, inversión extranjera directa neta, reservas internacionales, meses de importación, deuda externa del sector eléctrico como porcentaje de la total, servicio de la deuda del sector eléctrico.

Precios Internos: Índice de precios implícito el PIB, índice de precios al consumidor, tasa de cambio promedio anual y moneda nacional.

M.2 Tasa de Cambio y Salario Mínimo Mensual

A.6 Impacto Ambiental

M.1 Emisiones de Gases y Partículas

La información contenida en este módulo es una aproximación al cálculo de la contaminación ambiental por emisiones de gases y partículas (anhídrido sulfuroso SO₂, óxido de nitrógeno NO_X, hidrocarburos HC, monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂ y partículas) originadas en las actividades de transformación (generación eléctrica y refinería) y consumo de energía (no aprovechado, industria, transporte, residencial/comercial/servicios/público y, agro/pesca/minería/otros) por fuente de energía (petróleo, gas natural, carbón mineral, leña, productos de caña, gas licuado, gasolina/alcohol, kerosene y turbo, diesel oil, fuel oil y carbón vegetal).

M.2 Contaminación de Suelos y Aguas

Este módulo presenta una aproximación al cálculo de la contaminación ambiental de suelos y aguas originadas en las actividades de producción de refinerías y generación en centrales eléctricas.

Refinerías: Se muestran datos de contaminación de aguas con volúmenes de desechos, demanda biológica de oxígeno/5 días (DO₅), demanda química de oxígeno (COD), total de carbón

orgánico (TOC), sólidos en suspensión (SS), petróleo (OIL), fenoles, amónios y sulfuros y, contaminación de suelos por desechos sólidos.

Centrales eléctricas: (*)
Previsto para desarrollo.

A.7 Indicadores

Los módulos desarrollados realizan una combinación de los datos de economía y de energía permitiendo una amplia consulta de indicadores económicos, energéticos y económico-energéticos.

M.1 Indicadores Económico-Energéticos

Económicos: PIB (total, PIB per cápita, % crecimiento del PIB y % crecimiento del PIB per cápita), índice anual de precios al consumidor, tasa de inflación anual, deuda externa (total, per cápita, deuda externa como porcentaje del PIB, deuda externa como porcentaje de exportaciones, servicio de la deuda como porcentaje de las exportaciones), comercio exterior (exportaciones/PIB, importaciones/PIB).

Energéticos: Relación reservas/producción (petróleo, gas natural, carbón mineral), aprovechamiento hidroenergía.

Económico-energéticos: Intensidad energética, elasticidad demanda-PIB, consumo final de energía per cápita, importaciones exportaciones de petróleo en relación a las importaciones exportaciones de bienes y servicios.

M.2 Consumos Per cápita

Por cada uno de los energéticos considerando las acti-

vidades de Oferta total, transporte, industria, residencial, comercial/servicios/público, agro/pesca/minería, construcción/otros, y consumo final.

M.3 Precios Relativos

M.4 Indicadores de Emisiones.-

En este módulo se presentan datos de la cantidad de toneladas de CO₂ producidas por GWh generado y la cantidad de toneladas de CO₂ producidas por cada mil barriles equivalentes de petróleo (BEP) consumidos.

A.8 Información Mundial

Esta área contiene información para el mundo, desagregada por las regiones América Latina y el Caribe, Norte América, Europa Occidental, Europa Oriental (incluye CEI), Medio Oriente, África, Asia y Australasia, y Mundo.

M.1 Socioeconómicas

Población y PIB.

M.2 Reservas

Petróleo, Gas Natural y Carbón Mineral.

M.5 Consumo de Energía Primaria

Petróleo, Gas Natural, Electricidad, Carbón Mineral y Biomasa.

M.6 Consumo de Derivados del Petróleo

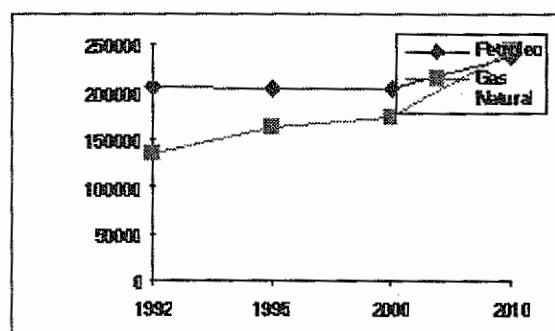
Gasolinas, Destilados Medios, Fuel Oil y Otros.

M.7 Precios de Petróleo

Canasta OPEP, Árabe Ligero, Dubai, Bonny Light, Saharan Blend, Minas, Tia Juana Light, Istmo, Oman, Brent, West Texas Intermediate y Alaska North Slope; precios mensuales a partir de 1988

II SIEE-PROSPECTIVO

Proyecciones al año 2010 con base en series históricas de más de 20 años.
América Latina - Producción (10³bep)



M.8 Precios de Mercado

Gas Natural Doméstico, Gas Natural Industrial, Gasolina, Diesel Oil, Fuel Oil, Carbón Siderúrgico y Carbón Térmico; precios anuales desde 1980

A.1 Precios

Corresponden al escenario económico utilizado por OLADE

para el cálculo de las previsiones de la oferta y la demanda de energía; por lo que estos valores deben interpretarse como un escenario de referencia destinado a alimentar los instrumentos de previsión de las variables energéticas.

Se presentan precios de los diferentes energéticos utilizados en los sectores transporte, industrial, residencial/comercial y construcción/agro/otros.

A.2 Oferta/Demanda

M.1 Oferta.-

Se muestran previsiones elaboradas con base en el análisis de por lo menos 15 años de series históricas acumuladas y en el conocimiento existente sobre las restricciones que pueden presentarse en el desarrollo futuro de algunas fuentes, así como sobre los procesos de sustitución y de conservación de la energía.

Como parte de la Oferta, se tiene la producción, importación, exportación y no aprovechado. Se incluye además los procesos de transformación de la energía en refinerías, centrales eléctricas, autoproductores, centros de gas, carboneras, coquerías/altos hornos, destilerías y el consumo propio y pérdidas.

M.2 Demanda.-

Se presentan previsiones de consumo de los diferentes energéticos utilizados en los sectores transporte, industrial, residencial/comercial y construcción / agro / otros.

A.3 Equipamiento

M.1 Sector Eléctrico

Se muestran estimaciones de la implementación de centrales eléctricas por tipo de planta, esto es hidráulica, geotérmica, nuclear, térmica vapor, turbo gas y diesel. Además se incluye un inventario de los principales proyectos.

M.2 Sector Hidrocarburos

Se presentan previsiones del incremento de la capacidad instalada en refinerías y centros de tratamiento de gas y del comercio exterior proyectado.

A.4 Economía General

La información que aquí se presenta, corresponde al escenario económico utilizado por OLADE para el cálculo de las previsiones de la oferta y la demanda de energía; por lo que estos valores deben interpretarse como un escenario de referencia destinado a alimentar los instrumentos de previsión de las variables energéticas.

M.1 Demografía

Estimaciones previsionales de la población total de cada uno de los países.

M.2 Variables Económicas

Estimaciones previsionales del PIB total y por sectores agrícola, industrial, servicios varios, y otros.

A.5 Impacto Ambiental

Con base en las proyecciones de Oferta y Demanda y aplicando los factores de emisión definidos en el SIEE-histórico Impacto Ambiental, se muestra una aproximación al cálculo de la previsión de emisiones al aire de gases y partículas (SO₂, NOX, HC, CO, CO₂ y partículas) por los procesos de transformación de energía en generación eléctrica y refinerías, y por consumos de energía en los sectores industria, residencial/comercial/servicios/público, transporte y agro / pesca / minería / construcción / otros.

A.6 Información Mundial

En esta área se presentan proyecciones a nivel mundial realizadas por la Agencia Internacional de Energía (AIE) y mostradas en el documento Perspectiva Mundial de la Energía.

M.1 Precios.-

Petróleo crudo, gas natural y carbón mineral.

M.2 Economía.-

Tasas anuales de crecimiento económico.

M.3 Población.-

Tasas anuales de crecimiento poblacional.

M.4 Demanda.-

Previsiones mundiales de la demanda de energía primaria y final (petróleo, gas, nuclear,

hidro, sólidos y otros), consumo propio, insumos para generación eléctrica y generación de electri-

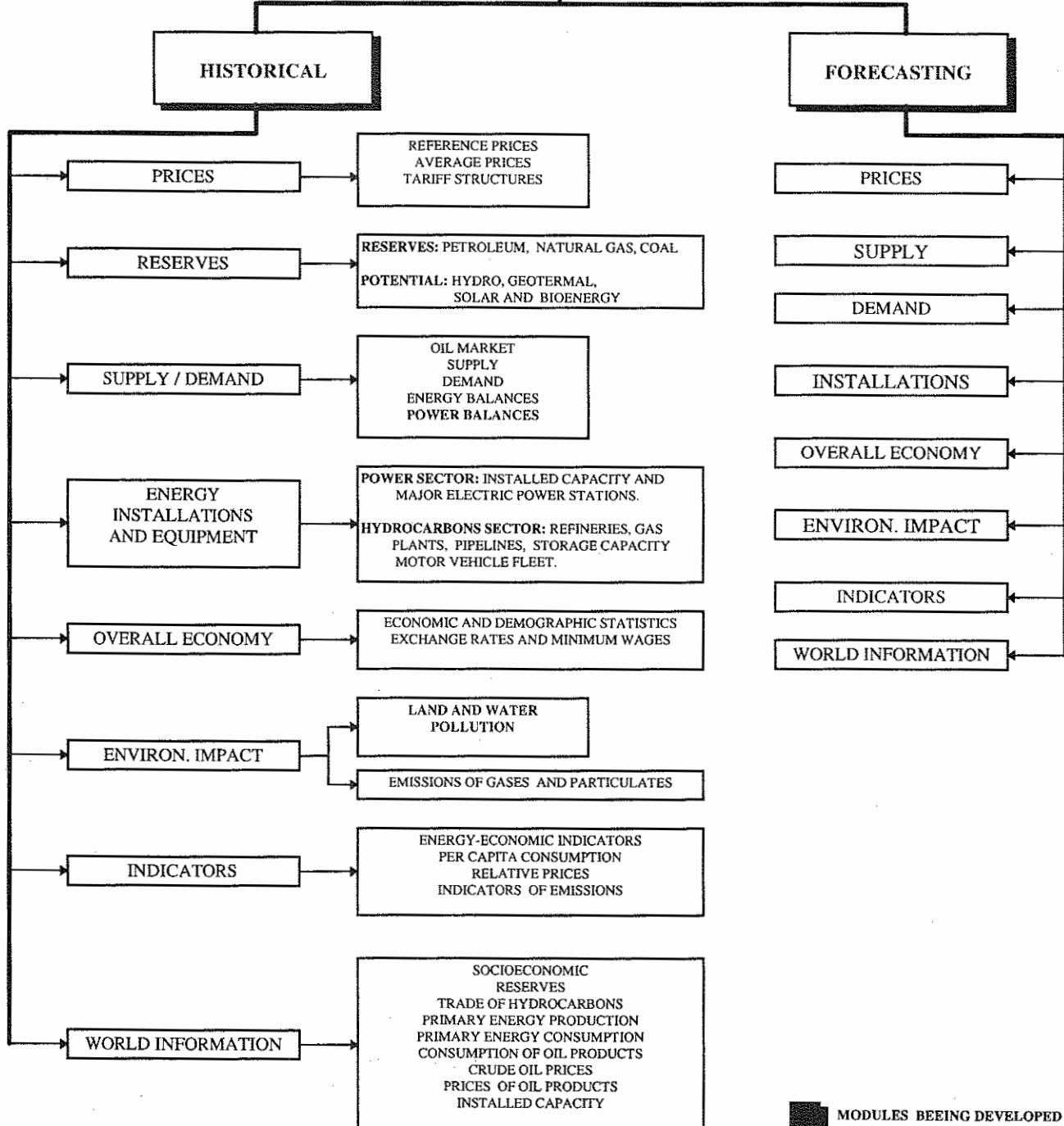
cidad por tipo de combustible. Se incluye además estimaciones de emisiones de carbón e indi-

cadores económico energéticos (consumos per cápita e intensidad energética).

**CUADRO TARIFARIO POR SERVICIOS DE INFORMACION
DEL SISTEMA DE INFORMACION ECONOMICA - ENERGETICA
SIEE**

PRODUCTO	VALOR USS
SIEE Suscripción Paquete Completo (Actualización trimestral por 1 año)	5000
Renovación anual 50%	2500
SIEE Por Areas	
Precios	1550
Reservas e Inventario de Recursos	1000
Oferta y Demanda	2500
Equipamiento e Instalaciones Energéticas	1000
Economía General	1000
Impacto Ambiental	1000
Indicadores Económico Energéticos	1000
Información Mundial	1000
Prospectiva	2500
SIEE Ejecutivo (Actualización Trimestral)	
Costo.	3.000
Renovación anual 50% del costo.	
Solicitudes de Información Adicional	Tarifa Especial
<i>Depende del tipo de información solicitada y del numero de horas/hombre utilizadas.</i>	

SISTEMA DE INFORMACION ECONOMICA-ENERGETICA SIEE



The Energy-Economic Information System (SIEE)

Introduction and Background

The Latin American Energy Organization (OLADE), is an international public organization for cooperation, coordination and advising. It was created on November 2, 1973, with the signing of the Lima Agreement, which was ratified by 26 Latin American and Caribbean countries. The headquarters of the Permanent Secretariat are located in Quito, Ecuador.

The member countries are: *Argentina, Barbados, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Grenada, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Suriname, Trinidad and Tobago, Uruguay and Venezuela.*

The organization's main objectives and functions include the following:

- To promote actions among the member countries for the development and defense of the natural resources of the respective countries and the region as a whole.

- To foster a policy for the rational exploration, exploitation, transformation and marketing of the energy resources of the Member States.
- To foster technical cooperation and the exchange and dissemination of scientific, legal and technological information.

In regard to the last point, and in order to provide systematic, up-to-date, consistent and reliable information on the principal economic and energy variables of the Latin American and Caribbean countries, OLADE promoted the development of the SIEE as of 1988, with support from the European Economic Community (EEC).

To achieve this objective, work has been done gradually using a modular methodology, according to which the SIEE was designed and implemented by groups or modules associated with a given type of data.

The SIEE was conceived of as a tool at the service of the Permanent Secretariat of OLADE and the highest levels of decision-making in the member countries, in order to supply select-

ed energy and economic information enabling comparisons between countries and regions.

This general objective is characterized by:

Service to High Levels of Decision-making. The System is geared to serving the highest levels of decision-making in the member countries, institutes and energy company managers, so that they will have selected information to orient rapid and timely decision-making. The SIEE also provides an important service at the technical levels of the member countries, which usually required information with a greater level of detail.

Energy-Economy Linkages. The information contained in the SIEE refers to both energy and economic aspects, thus making it possible to relate the energy sector to the overall economy. The preparation of indicators permitting the definition of the energy sector's importance within national economies, its relationship to the external debt, the impact of domestic energy prices or project financing characteristics are only some examples of the topics that can be addressed by the System.

Comparative Analyses at the Regional Level and between Countries. The emphasis of the service provided by the SIEE centers on comparative analyses between countries and regions, and it is considered that the information generated in this field serves as a basis for fostering cooperation and designing regional policies. In fact,

the similarities and differences between countries or groups of countries have been invaluable elements in comprehensive energy planning and have also facilitated the adoption of domestic policies and provided elements for further regional integration.

Selected Information. The information contained in the SIEE is selective, thus avoiding having to handle a huge storehouse of data to satisfy all imaginable needs. The selected data ensure an agile, rapid, and reliable service.

The SIEE has not been conceived of as an alternative to the development of national databases, but rather as a different product providing a specific, complementary service.

Independence from National Systems. It is worthwhile to note that the implementation of OLADE's regional information system has not required the simultaneous installation of national systems, although this has been one of the medium-term objectives promoted by the organization.

La The problems involved in national systems are different in nature, since they must go into much greater detail and data disaggregation and in the collection of information not available or the refinement of less reliable information, based on surveys, censuses and statistical consistency procedures.

Requirements

The System is composed of a user-friendly software package that

does not require previous computer skills.

Equipment requirements:

PC-compatible
640-kB RAM
1 disk drive of any size plus a hard disk with 18 MB of space available
MS-DOS operating system, version 3.3 or later.

Information-Exchange Mechanism

In each member country, a person has been designated to be responsible for the System and put in charge of compiling information and disseminating the SIEE.

In order to keep the procedures used coherent, annual Working Groups are held for those responsible for the System in the member countries (the SIEE Advisors), to discuss the objectives of each module of the System and the most suitable methodologies for gathering data so as to ensure homogeneity in the information and thus facilitate regional analyses.

Data collection for the System is done in different ways, including:

- Monthly, semester and annual forms
- Data-inputting diskettes by areas
- Courier, air mail, regular mail, telephone, fax and telex

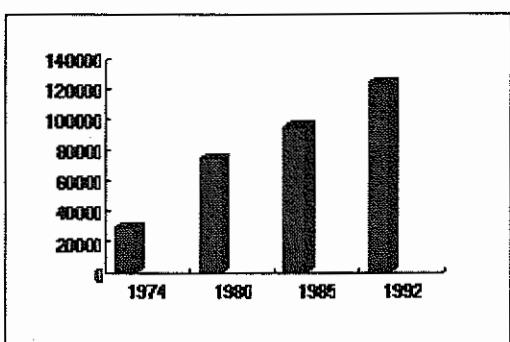
The System is updated quarterly (basically domestic energy prices, exchange rates and minimum wages).

System Contents

The SIEE areas and modules are as follows:

I. SIEE-HISTORICAL DATA

Latin America and the Caribbean - Proven Reserves Oil - 10(6) bbl



A.1 Prices

M.1 Reference prices

This module conducts a follow-up on the monthly domestic, import, and export prices as of January 1988, in U.S. dollars and in national currencies, using units that can be selected to measure natural gas, LPG, gasoline, (premium and regular), gas-oil, kerosene, jet fuel, residual fuel oil, crude oil, thermal and coking coal, in addition to the average prices of electricity in the residential, commercial, and industrial sectors.

Domestic prices: Consumer price of an energy product, including taxes. This corresponds to the price in force during one month in national currency, expressed in U.S. dollars at the monthly exchange rate published by the International

Monetary Fund (IMF). If the price varies by city or sale outlet in the country, the one that has the largest volume of sales is selected.

Import price: Monthly import prices are CIF and correspond to the monthly average or the most representative shipment of the month.

Export price: Monthly export prices are FOB and correspond to the monthly average or the most representative shipment of the month.

M.2 Average prices

The annual average price of an energy product corresponds to the weighted average of the sales volumes of all the prices paid by the consumers of this energy product during the year. That is, it is calculated establishing the ratio between the total billed value expressed in terms of U.S. dollars and the sold volume.

M.3 Tariff structures

This module contains the tariff structures of the major power utilities of the countries, with the tariffs by range of consumption and fixed charges, expressed in terms of national currency of each country.

A.2 Reserves and Inventory of Energy Resources

M.1 Oil

The historical evolution of

reserves and inventory of the major fields being exploited, indicating the name of the field, its location, depth, average gravity, date of discovery, operator, number of productive and total wells, and in some cases the average field production level.

M.2 Natural gas

It contains the historical evolution of natural gas reserves.

M.3 Coal

Historical evolution of the reserves and inventory of the major oilfields.

M.4 Hydropower potential

M.5 Geothermal potential

The geothermal potential of the last year and inventory of the major reservoirs.

M.6 Wind potential

Annual average values, average power capacity, and energy of wind are presented.

M.7 Solar potential

Information on solar parameters used to estimate the theoretical sun potential is presented.

M.8 Bioenergy potential

The bioenergy potential of firewood, bagasse, and wastes (agricultural, agro-industrial, livestock, and urban) is presented.

M.9 Inventory of resources

It corresponds to an inventory of all the resources mentioned in the previous items and for the last year for which information is available.

A.3 Supply/Demand

M.1 Supply/demand

It contains annual information as of 1970 for the 26 member countries of OLADE, for 9 primary energy products, including oil, natural gas, coal, hydroenergy, geothermal energy, fissionable fuels, firewood, cane products and other primary energy products, as well as 11 secondary energy products, including electricity, liquefied gas, gasoline/alcohol, kerosene and jet fuel, diesel fuel, fuel oil, coke, charcoal, gas, other secondary products, and non-energy products.

Supply: It contains the detailed annual data on production, imports, exports, inventory variations, unused energy, total supply, in addition to the transformation of energy in refineries, power stations, self-producers, gas centers, coal bunkers, cokeries/furnaces, distilleries, and other centers.

Demand: It covers energy demand in seven key sectors of the economy: transport, industry, residential, commercial/services/public, agricultural/fishing/mining, construction/others and non-energy.

M.2 Oil market

This module records annual exchanges (as of 1988) of crude oil and oil products between the member countries of OLADE and also the volumes that are shipped to and received from other regions of the world.

M.3 Energy balance

This module permits the preparation of the consolidated energy matrix or balance for any combination of countries, facilitating the query of new economic blocs being shaped in the Region. The balances are individual, consolidated, or regional.

M.4 Electric power balance

This module provides detailed information on power generation by type of plant (nuclear, hydropower, geothermal, steam-driven, gas-fired, diesel, etc.); the nominal and effective installed capacity are shown, as well as the hours of utilization. Own consumption, fuel consumption, and losses in transmission and distribution systems are indicated. The information in this module is still relatively limited and it should therefore be considered as preliminary.

A.4 Energy Installations and Facilities

M.1 Electric power sector

It contains information on the evolution of installed capacity in power stations for public and

self-producer sectors by type of plant (hydraulic, thermal steam, gas, diesel, geothermal, and nuclear); in addition there is an inventory of major power stations.

M.2 Hydrocarbons sector

It contains information on the evolution of installed capacity in the following:

Refineries by type of distillation, in addition to an inventory by refinery (name, location, operator, and capacity).

Gasoline and LPG recovery plants, in addition to an inventory by plant (name, location, operator, and capacity).

Hydrocarbon storage capacity for the last year available, in addition to the storage center (name, location, operator, and capacity by type of fuel).

Oil pipelines/polyducts/gas pipelines, an inventory by main pipeline (type, name, operator, diameter, capacity, and length).

M.3 Motor vehicle fleet

Motor vehicle fleet: by type of vehicle (motorcycle, private automobile, taxi, jeep, pick-up truck, lightweight truck, heavyweight truck, small bus, large city bus, large inter-provincial bus, and other motor vehicles) and by type of fuel they use (gasoline, alcohol, diesel, natural gas, and liquefied gas).

Operating parameters: capacity, consumption, mileage,

and occupancy factor, by type of vehicle and fuel used.

The information in this module is still very limited and therefore it should be viewed as preliminary.

A.5 General Economy

M.1 Demography and economic statistics

Demography: It presents a series of total population, total population growth rate, urban population, total labor force and by agricultural, industrial, or services sector, annual average urban unemployment rate, and rate of illiteracy.

Economic statistics

National accounts: GDP (total, growth rate, by sector, by type of expenditure), investments.

Foreign trade: Exports and imports of goods and services, exports and imports of oil and products.

Balance of payments: Outstanding current account.

External debt: Total disbursed, interests paid and due debt service effectively paid, net direct foreign investment, international reserves, months of imports, foreign debt of the power sector as a percentage of total debt, debt service for the power sector.

Domestic prices: Implicit GDP price index, consumer price

index, annual average exchange rate, and natural currency.

M.2 Exchange rate and minimum monthly wage

A.6 Environmental Impact

M.1 Emissions of gases and particulates

The information in this module is an approximation of the calculation of the environmental pollutants due to emissions of gases and particulates (sulfur dioxide SO₂, nitrogen oxide NO_x, hydrocarbons HC, carbon monoxide CO, carbon dioxide CO₂, and particulates) stemming from transformation activities (power generation and refinery), and energy consumption (unused, industry, transportation, residential/commercial/services/public and agriculture/fishing/mining/others) by source of energy (oil, natural gas, coal, firewood, sugar cane products, liquefied gas, gasoline/alcohol, kerosene and jet fuel, diesel oil, fuel oil, and charcoal).

M.2 Land and water pollution

This module presents an approximation of the calculation of environmental pollution of land and water stemming from the refinery production and generation activities in power stations.

Refineries: Water pollution data with volumes of wastes, biological oxygen demand/5 (BOD5), chemical oxygen demand (COD), total organic car-

bon (TOC), suspended solids (SS), oil, phenols, ammonia and sulfurs, and land pollution due to solid wastes.

Power stations: Scheduled for development.

A.7 Indicators

The modules developed provide a combination of economy and energy data permitting a wide range of economic, energy, and energy-economic indicators.

M.1 Energy-economic indicators

Economic: GDP (total, per capita GDP, percentage of GDP growth, and percentage of per capita GDP growth), annual consumer price index, annual inflation rate, external debt (total, per capita, external debt as a percentage of GDP, external debt as percentage of exports, debt servicing as a percentage of exports), foreign trade (exports/GDP, imports/GDP).

Energy products: Reserves-production ratio (oil, natural gas, coal), hydroenergy development.

Energy-economy: Energy intensity, demand-GDP elasticity, final consumption of per capita energy, oil imports and exports in relation to imports and exports of goods and services.

M.2 Per capita consumption

For each one of the energy products considering total supply, transport, industrial, residential,

commercial/services/public, agricultural/fishing/mining, construction/others, and final consumption activities.

M.3 Relative prices

M.4 Indicators of emissions

In this module, the data of the amount of tons of CO₂ produced by GWh generated and the amount of tons of CO₂ produced per each thousand barrels of oil equivalent (BOE) consumed are presented.

A.8 World Information

This area contains information for the world, broken down by regions, Latin America and the Caribbean, North America, Western Europe, Eastern Europe (including CIS), Middle East, Africa, Asia and Australasia, and the World.

M.1 Socioeconomic

Population and GDP.

M.2 Reserves

Oil, natural gas, and coal.,

M.3 Foreign trade

Annual oil exports and imports.

M.4 Primary energy production

Oil, natural gas, electricity, coal, and biomass.

M.5 Primary energy consumption

Oil, natural gas, electricity, coal, and biomass.

M.6 Consumption of oil products

Gasolines, medium distillates, fuel oil and others.

M.7 Oil prices

OPEC basket, Arab Light, Dubai, Bonny Light, Saharan Blend, Minas, Tia Juana Light, Isthmus, Oman, Brent, West Texas Intermediate, and Alaska North Slope, monthly prices as of 1988.

A.1 Prices

They correspond to the economic scenario used by OLADE for calculating energy supply and demand forecasts; these values should therefore be interpreted as a reference scenario aimed at feeding the instruments for forecasting energy variables.

The prices of different energy products used in the transport, industrial, residential/commercial, and construction/agriculture/others sectors are presented.

A.2 Supply/demand

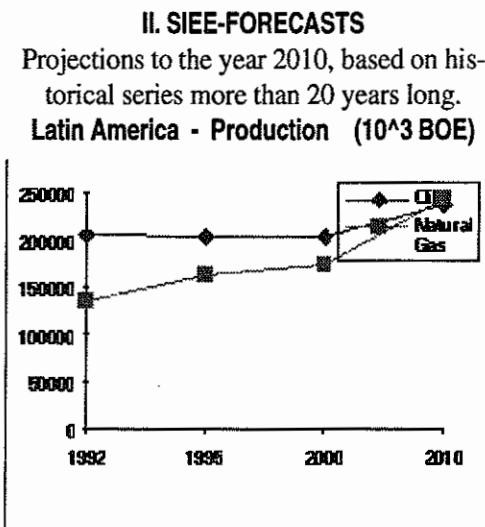
M.1 Supply

Forecasts prepared on the basis of the analysis of at least 15 years of accumulated historical series and on existing knowledge on the limitations that may emerge in the future development of several sources, as well as on energy substitution and conservation processes.

As part of supply, there is production, imports, exports, and unused. In addition, energy transformation processes were included in refineries, power stations, self-producers, gas centers, coal bunkers, cokeries/furnaces, distilleries, and own consumption and losses.

M.2 Demand

Consumption forecasts of the different energy products



M.8 Market prices

Household natural gas, industrial natural gas, gasoline, diesel oil, fuel oil, thermal and coking coal: annual prices as of 1980.

used in the transport, industrial, residential/commercial, and construction/agricultural/other are presented.

A.3 Installations and Facilities

M.1 Electric power sector

Estimates of the implementation of power stations are shown, indicating type of plant, that is, hydraulic, geothermal, nuclear steam-driven, gas-fired, and diesel. In addition, an inventory of major projects is included.

M.2 Hydrocarbons sector

Forecasts of the increase in installed capacity in refineries and gas treatment centers and projected foreign trade are presented.

A.4 General Economy

The information presented in this module corresponds to the economic scenario used by OLADE to calculate energy supply and demand forecasts; as a result, these values should be interpreted as a reference scenario aimed at feeding the forecasting instruments of energy variables.

M.1 Demography

Forecasting estimates of total population of each one of the countries.

M.2 Economic variables

Forecasting estimates of total GDP and by agricultural, industrial, various services, and others sectors.

A.5 Environmental Impact

On the basis of the supply and demand forecasts and applying the emission factors defined in the historical SIEE Environmental Impact, an approximation of the calculation of forecasted air emissions of gases and particulates (SO_2 , NO_x , HC, CO, CO_2 , and particulates) stemming from energy transformation processes in electric power generation and refineries and from energy consumption process in the industrial, residential/commercial/services/public, transport and agricultural/fishing/mining/construction/others sectors.

A.6 World Information

In this areas, world forecasts carried out by the

International Energy Agency (IEA) and indicated in the World Energy Outlook document are presented.

M.1 Prices

Crude oil, natural gas, and coal.

M.2 Economy

Annual economic growth rates.

M.3 Population

Annual population growth rates.

M.4 Demand

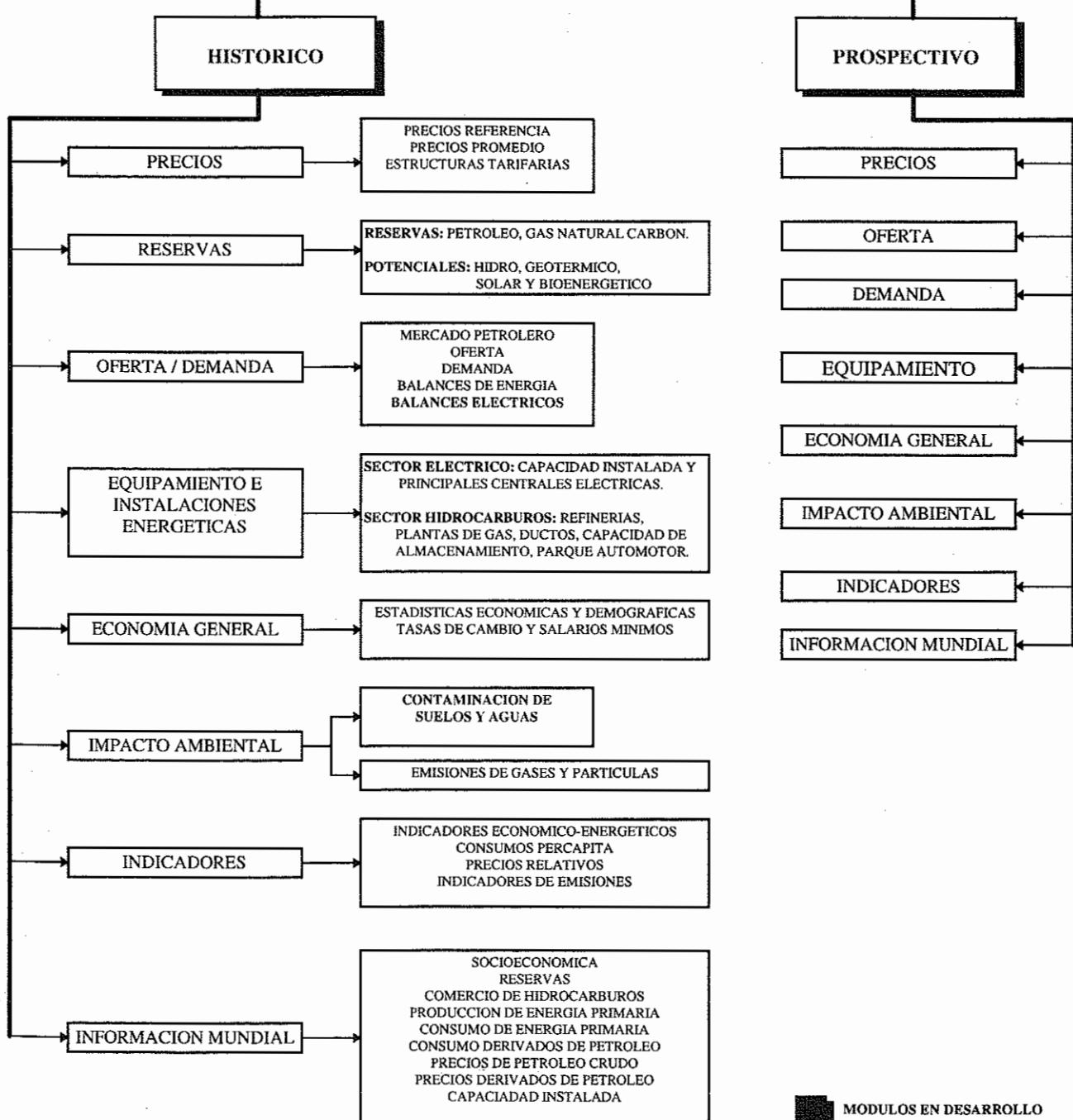
World forecasts of primary and final energy demand (oil, gas, nuclear, hydro, solids, and others), own consumption, inputs for power generation and power generation by type of fuel. In addition, estimates of coal emissions and energy-economic indicators (per capita consumptions and energy intensity).

**TABLE OF FEES CHARGED FOR INFORMATION SERVICES FROM
ENERGY-ECONOMIC INFORMATION SYSTEM
SIEE**

PRODUCT	COST USS
SIEE Subscription - Complete Package (One year with quarterly updates)	5000
Annual renewal 50%	2500
SIEE By Areas	
Prices	1550
Reserves and Resource Inventories	1000
Supply and Demand	2500
Energy Equipment and Installations	1000
Overall Economy	1000
Environmental Impacts	1000
Energy-Economic Indicators	1000
World Information	1000
Forecasting	2500
Executive SIEE (quarterly updates)	
Cost	3000
Annual renewal 50%	
Requests for Additional Information	Special Rate
<i>Depends on the type of information requested and the no. of man-hours involved.</i>	

ENERGY - ECONOMIC INFORMATION SYSTEM

SIEE



 MODULOS EN DESARROLLO

SUPER/OLADE-BID

Modelo de Planificación de Generación e Interconexiones de Sistemas Eléctricos para Uso de Empresas Públicas, Privadas e Inversionistas

RESUMEN

La planificación de los sistemas eléctricos requiere de herramientas analíticas rápidas y efectivas que permitan presentar la información en forma adecuada a los niveles decisorios. Algunos países de América Latina y el Caribe (ALC) han sido pioneros en la incorporación de elementos importantes en la planificación de los sistemas eléctricos, tales como el riesgo hidrológico y otras incertidumbres; sin embargo, estos adelantos no han estado disponibles para la mayoría de los países. En tal sentido, se hacía necesario que los avances logrados pudieran ser utilizados por todos los países de la Región.

Con estos antecedentes, OLADE y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), suscribieron un convenio de cooperación para realizar un programa de apoyo al sector energético de ALC, que incluye un modelo para mejorar los instrumentos de planificación eléctrica.

El modelo, denominado SUPER/OLADE-BID y desarrollado para microcomputadores, consiste en ocho módulos que per-

miten realizar la planificación de la generación eléctrica y enlaces de transmisión, tanto para las empresas públicas como privadas. El usuario accede a estos módulos por medio de una interfaz gráfica basada en Windows.

El SUPER/OLADE-BID representa adecuadamente los sistemas eléctricos multiáreas con embalses multianuales. Posee capacidad de optimización y de simulación con embalses equivalentes o plantas hidráulicas individuales, para permitir la obtención de planes de mínimo costo. Produce también estrategias de expansión, teniendo en cuenta incertidumbres en el crecimiento de la demanda, los costos de combustibles, los períodos de ejecución de los proyectos y el comportamiento de la hidrología. Los módulos de simulación suministran indicadores apropiados para los inversionistas privados, y los módulos de impactos analizan los efectos que tienen, en el medio ambiente y en las finanzas de las empresas, los planes de expansión.

Durante el desarrollo del modelo se contó con la participación de diversas instituciones tales como: el Banco Interameri-

cano de Desarrollo, el Banco Mundial, el Argonne National Laboratory, el Organismo Internacional de Energía Atómica, la Bonneville Power Administration, el Tellus Institute de Boston, el Centro de Pesquisas de Energía Eléctrica de Brasil y varias empresas eléctricas de la Región.

Las principales características de los módulos del SUPER son las siguientes:

MODDEM Módulo de Demanda: Con base en datos históricos modela la demanda en un formato apropiado para los otros módulos. Realiza el análisis económico de los programas de administración de la demanda y conservación de energía.

MODHID Módulo Hidrológico: Reconstruye los caudales naturales con base en los registros de operación de los embalses. Rellena información histórica de caudales no disponibles. Genera series sintéticas de caudales y produce información hidrológica para otros módulos.

MODPIN Módulo de Planificación Bajo Incertidumbre: Encuentra las estrategias de inversión de menor riesgo, bajo incertidumbres en variables tales como la demanda, costos de combustibles, períodos de ejecución de los proyectos e hidrología.

MODEXP Módulo de Expansión: Produce planes de mínimo costo para sistemas hidrotérmicos interconectados. Incluye un despacho con plantas

hidráulicas individuales basado en Programación Dinámica Estocástica Dual.

MODDHT Módulo de Despacho Hidrotérmico: Simula la operación óptima de sistemas hidrotérmicos interconectados. Calcula los costos marginales de corto plazo y los beneficios marginales de plantas térmicas e interconexiones. Utiliza Programación Dinámica Estocástica con embalses equivalentes.

MODTER Módulo Térmico: Determina planes de mínimo costo para sistemas predominantemente térmicos, incluidos sistemas térmicos pequeños. Calcula costos marginales de corto plazo y beneficios marginales de plantas térmicas. Incluye el programa WASP III

MODFIN Módulo Financiero: Realiza el análisis financiero de la empresa.

MODAMB Módulo Ambiental: Produce el análisis ambiental de los planes de expansión, utilizando cinco objetivos: Impactos en el medio físico-biótico, población desplazada, costos regionales y beneficios regionales.

1. PROCESO DE TOMA DE DECISIONES EN EL SECTOR ELÉCTRICO

La energía eléctrica, por el rol que desempeña en el desarrollo económico de una nación, ejerce un peso fundamental en la orientación de sus opciones: como efecto hacia atrás, influye sobre la estructura industrial, justificando la implantación de constructores de equipos

electromecánicos; como efecto hacia adelante, poniendo a disposición de los usuarios industriales un producto capaz de competir con otras fuentes energéticas, como son el carbón, el petróleo, el gas, etc.

Las características del sector de la energía son muy peculiares:

- Plazos de tiempo muy elevados debido a los estudios y ejecución de los proyectos de generación.
- Necesidades de financiamiento considerables.
- Recursos naturales muy desigualmente distribuidos.

Todo esto genera una serie de riesgos importantes para cualquier tipo de economía:

- El de tomar decisiones que comprometan en gran medida el futuro.
- El de la inadaptación de la oferta a las necesidades, puesto que las previsiones a medio plazo son difíciles.
- El de la incertidumbre política y económica de la evolución mundial.

La vida útil de las centrales de producción, ya se trate de centrales térmicas, hidráulicas o nucleares, se evalúa en decenas de años. Todas son instaladas para durar y servir al sistema por largo tiempo. Se comprende entonces que la decisión de emprender programas de equipamiento, de capital tan intensivo, pueda tomarse únicamente

mente luego de un profundo y serio análisis referido a un futuro eminentemente aleatorio.

Todos los parámetros observan este carácter aleatorio: primeramente la demanda de energía eléctrica, cuya evolución está relacionada con el ritmo de desarrollo nacional e internacional; el precio de los diferentes combustibles, el cual se ve afectado a su vez por la selección realizada por el sector eléctrico en el mundo entero; lo aleatorio afecta a sí mismo las tasas de interés, la productividad de los equipamientos hidráulicos, las variaciones climáticas, la disponibilidad de las centrales y las regulaciones ambientales de carácter nacional y global.

El problema consiste en determinar el programa óptimo de equipamiento de centrales generadoras y sistemas de transmisión que permitan abastecer la demanda futura y que respeten ciertas restricciones técnicas y económicas.

Sin embargo, la gran variedad de alternativas, las diferentes características técnicas y económicas de los distintos medios de generación y la interdependencia entre ellos en un instante dado y en el tiempo, convierten al problema económico en algo especialmente complejo que justifica el empleo de métodos de la programación matemática.

A veces se utilizan programas de obtención de planes óptimos no apropiados para sistemas predominantemente hidráulicos con alta capacidad de regulación

que, por ejemplo, hacen énfasis en la confiabilidad de potencia, tratando en forma superficial la confiabilidad energética e ignorando la operación de embalses con capacidad de regulación superior a la del período de optimización del algoritmo.

Las herramientas de planificación que se utilizan con frecuencia son determinísticas y utilizan un solo criterio de optimización (minimización de costos). El análisis de escenarios que se emplea obtiene la expansión óptima para una trayectoria dada de crecimiento de la demanda, pero no estudia lo que ocurre cuando se planifica para un escenario y ocurre otro.

Comúnmente no se consideran alternativas del lado de la demanda, las que deberían modelarse y optimizarse junto con las opciones más tradicionales del lado de la oferta.

En particular, la conservación y el uso racional de la energía son opciones atractivas, puesto que minimizan incertidumbres en crecimiento de la demanda, tienen un tiempo bajo de implementación, disminuye la necesidad de construcción de generación y transmisión y presenta alta dispersión geográfica, lo que minimiza impactos socioeconómicos negativos.

Generalmente no se diferencian a los programas con respecto a su nivel de riesgo o a su flexibilidad de implantación. Proyectos grandes, por ejemplo, presentan riesgos considerables con respecto al crecimiento de la demanda, en

relación con proyectos pequeños que son más adaptables. En ocasiones, proyectos hidroeléctricos implican riesgos específicos relacionados con tiempos de construcción y con características geológicas. Otro tipo de riesgos tienen que ver con impactos ambientales y con el comportamiento de tecnologías nuevas o no lo suficientemente probadas.

Con frecuencia no se tienen en cuenta restricciones financieras al elaborar planes de expansión. Estas pueden provenir no solamente de dificultades internas de la compañía de electricidad o del país, sino también de la escasez de fondos a nivel internacional para este tipo de proyectos y pueden ocasionar desviaciones del plan óptimo.

Algunos países carecen de una planificación de operaciones que optimice la operación del sistema, haciéndola compatible al mismo tiempo con la planificación de la expansión. Es importante insistir en la necesidad de consistencia entre la planificación y la operación.

Un aspecto que rara vez se toma en cuenta es el computacional, referido a la facilidad e usar los modelos (interfaz con el usuario e interactividad entre los programas necesarios para responder a preguntas relativas a la planificación) y a su documentación. Esta última es particularmente inadecuada en muchos casos, lo que dificulta el mantenimiento.

En la conferencia "Un desafío de política para los años

90: Cómo superar la crisis del sector eléctrico en los países de América Latina y el Caribe" celebrada en Cocoyoc, México del 4 al 6 de septiembre de 1991, se destacó la importancia de mejorar los instrumentos y metodologías de planificación eléctrica utilizados en la Región, con el fin de optimizar la asignación de los escasos recursos disponibles para la operación y expansión de los sistemas eléctricos, considerando los riesgos asociados a la incertidumbre en los distintos parámetros ligados al sector, las opciones de uso racional de la energía, la sustitución de unos energéticos por otros y las restricciones financieras de las empresas eléctricas responsables del suministro eléctrico.

El programa SUPER/OLADEF-BID parte del principio básico de que actualmente existe en la Región suficiente conocimiento y experiencia para ensamblar un sistema computacional, que satisfaga las necesidades de los planificadores de los países miembros del BID y OLADE.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO E INTERFAZ HOMBRE MAQUINA

Los diferentes niveles de análisis de los módulos se presentan en la Figura 1. En el primer nivel se preparan los *datos básicos* tanto de hidrología (MODHID) como de demanda (MODDEM) para los siguientes módulos. El nivel de *optimización* suministra al planificador la opción de obtener una *estrategia* o un *plan de mínimo costo*. El MODPIN es utilizado para planificación estratégica, en

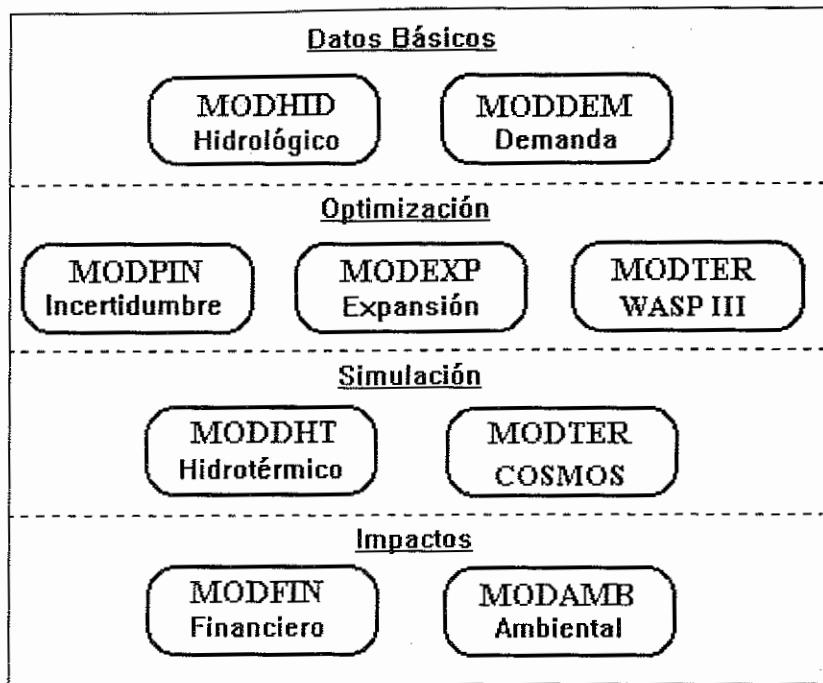


Figura 1
Módulos del SUPER/OLADEF-BID

tanto que el MODEXP y el MODTER se utilizan para definir planes óptimos de mínimo costo, el primero en sistemas hidrotérmicos y el segundo en sistemas térmicos grandes.

El nivel de *simulación* provee herramientas para el análisis de sistemas hidrotérmicos, utilizando para ello el MODDHT y para el análisis de los costos de operación de sistemas térmicos

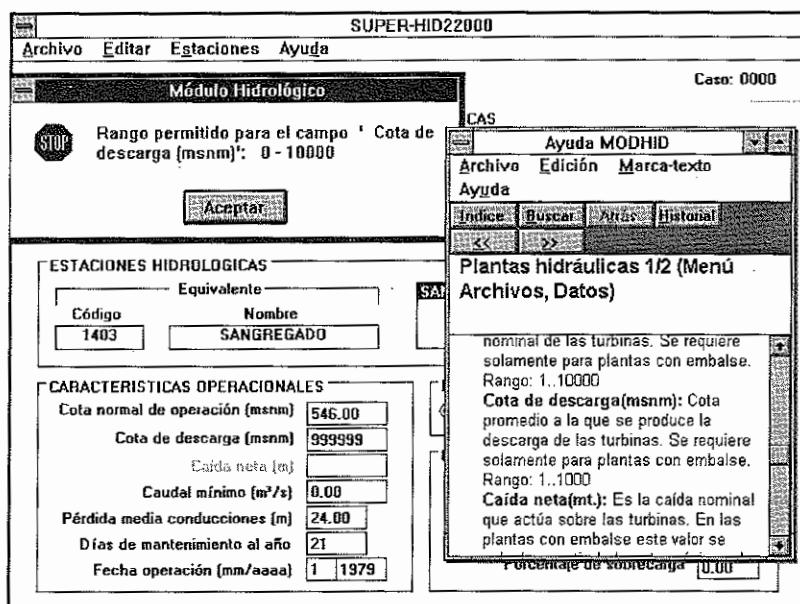


Figura 2
Interfaz Hombre-Máquina

(grandes y pequeños) mediante la utilización del COSMOS (COSTos Marginales de Operación de Sistemas). En el nivel de *impactos* se determinan los efectos ambientales, utilizando el MODAMB y se realizan los análisis financieros con el MODFIN.

La comunicación entre el usuario y los módulos del SUPER se realiza por medio de la Interfaz Hombre-Máquina (IHM) basada en Windows, según se muestra en la Figura 2. La IHM ha sido programada utilizando el Visual Basic de Microsoft.

Las principales características de la IHM se señalan a continuación:

Organización de los datos

Los datos están organizados en una estructura jerárquica de *Estudios de Planificación y Casos*. Cada estudio de planificación tiene varios casos, uno de los cuales es el *Caso Maestro*. Otros casos pueden ser creados a partir del *caso maestro* o de otros casos existentes. Los datos para cada caso son salvados en un formato comprimido y mediante una técnica de almacenamiento óptimo se evita la duplicación de datos entre un caso y otro.

Interacción entre el usuario y la base de datos

Todos los datos son almacenados en una *base de datos relacional* que es accedida por el usuario a través de un conjunto de pantallas, de fácil utilización, en las que se realizan las operaciones de inclusión y eliminación de informa-

ción, con ayudas en línea y validación de los datos, la cual se realiza en el momento de ingresar la información y antes de la ejecución de los módulos. Esta última validación se realiza para asegurar la consistencia entre los diferentes conjuntos de informaciones. Los módulos leen los datos a partir de archivos creados por la IHM en formato ASCII.

Comunicación entre los usuarios y los módulos

Después de que el usuario ha ingresado o modificado los datos para un módulo, puede ejecutarlo seleccionando el ítem apropiado en el menú respectivo. Luego que el usuario ha revisado los resultados y está de acuerdo con ellos, se ejecuta un pequeño programa que los hace accesible a otros módulos del SUPER (por ejemplo el módulo de demanda produce las curvas de duración de carga para los módulos de optimización y simulación)

Presentación de resultados y enlace con otros programas de Windows

Los resultados de cada módulo se presentan principalmente en forma de gráficos y también en reportes en formato ASCII. Al igual que otras aplicaciones de Windows, el SUPER soporta las operaciones de cortar y pegar, lo cual significa que el usuario puede exportar fácilmente gráficos o reportes al procesador de texto, hoja electrónica o programa de presentación de su preferencia.

Idiomas

El SUPER tiene capacidad de utilizar idiomas diferentes sin necesidad de alterar los programas ejecutables. Existen una serie de archivos editables en los que se encuentran todos los mensajes y títulos que utilizan los diferentes módulos. Se ofrecen dos versiones del modelo: en español e inglés, siendo posible la elaboración de versiones en otros idiomas.

3. MODULO DE DEMANDA Y CONSERVACIÓN (MODDEM)

Los modelos de simulación y optimización de despacho han desarrollado técnicas cada vez más cercanas a la realidad operativa de los sistemas eléctricos, por lo que se requieren modelos de demanda que representen sus características de la mejor forma posible. Adicionalmente, la necesidad de hacer un uso racional de la energía ha llevado a la implantación de programas de conservación y administración de la carga (CEAC), con el fin de reducir las inversiones destinadas a la ampliación de la capacidad de generación.

El objetivo principal de este módulo es elaborar los modelos de curvas de carga a partir de la información histórica y de las proyecciones de demanda suministradas por el usuario. El MODDEM produce esta información para ser utilizada por los demás módulos del SUPER.

Adicionalmente el MODDEM simula y evalúa los programas de conservación de energía y

administración de la carga, y efectúa el predespacho de las fuentes de energía no convencionales (pequeñas centrales hidráulicas, solares, eólicas, cogeneración, etc.) e intercambios programados de energía entre empresas generadoras o consumidoras con regímenes especiales.

El modelo tiene capacidad para trabajar con hasta 6 subsistemas interconectados, que pueden asociarse bien sea a regiones dentro del país, empresas eléctricas o zonas que tengan regímenes hidrológicos diferentes. Dentro de los subsistemas existen las regiones y dentro de las regiones los sectores de consumo.

El modelaje de las curvas de demanda se efectúa en tres niveles:

- a) Curvas de carga horaria, por días típicos semanales, hasta un máximo de 10 regiones y 10 tipos de consumo
- b) Curvas de duración de carga continuas, por períodos semanales o mensuales.
- c) Curvas de duración de carga por escalones (hasta un máximo de 5)

Las simulaciones de los programas CEAC y los predespachos de plantas no convencionales se efectúan sobre los modelos de cargas diarias. Los programas CEAC se evalúan económicamente utilizando como referencia, en el lado de los beneficios, los ahorros de energía y potencia en generación, transmisión y distribución valorados de acuerdo con los costos

marginales producidos por los módulos de simulación (MODDHT o MODTER). Los costos de programas CEAC corresponden a las inversiones y gastos de operación y administración de dichos programas. Adicionalmente se tiene en cuenta el agotamiento de los programas CEAC a lo largo del tiempo.

4. MODULO HIDROLÓGICO (MODHID)

El objetivo de este módulo es suministrar, en el formato apropiado, la información hidrológica para los módulos de optimización y simulación. El MODHID produce los siguientes resultados:

- a) Caudales naturales en cada sitio de los proyectos para un período determinado, descontando el efecto de la operación del sistema, la evaporación y otros usos del agua. Para ello, el módulo permite completar información faltante en los registros históricos.
- b) Secuencias hidrológicas para la simulación del despacho en el MODPIN y en el MODEXP.
- c) Energía disponible y mínima, capacidad máxima y energía almacenable para cada proyecto hidroeléctrico, período de tiempo e hidrocondición, definido por el módulo Térmico (WASP III).

La representación del sistema hidráulico debe preservar las propiedades estadísticas de los caudales naturales. Para este propósito se utiliza el modelo de *Matalas* el

cual es básicamente un modelo autorregresivo de orden 1 que utiliza las matrices de correlación de orden 0 y 1 para representar las hidrologías.

Los parámetros del modelo de *Matalas* son estimados usando la metodología de *Crosby-Maddock*, la cual hace posible considerar diferentes longitudes de información histórica para cada estación.

Para estaciones con información incompleta se emplea una formulación que hace uso de los filtros de *Kalman* y utiliza la estructura de evolución temporal y espacial de las series de tiempo y la teoría de sistemas dinámicos inciertos. El modelo que se obtiene permite llenar los datos faltantes y extender la serie más allá del rango en el cual se tiene información.

Para obtener la información de energía de un proyecto específico, para el Modulo Térmico, se utiliza un modelo desagregado de simulación, que obtiene la operación óptima del sistema hidráulico que maximiza la energía anual. Los valores anuales de energía para cada proyecto se desagregan utilizando factores estacionales, y luego se ajustan mediante una función de distribución de probabilidad empírica. Finalmente, se calculan los promedios de valores de energía y capacidad disponible para cada rango de probabilidad (hidro-condición).

5. MÓDULO DE PLANIFICACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE (MODPIN)

Este módulo permite obtener *estrategias de expansión de generación*, las cuales toman en cuenta la incertidumbre en la realización de las variables más importantes en el proceso de planificación. Sus características principales son las siguientes:

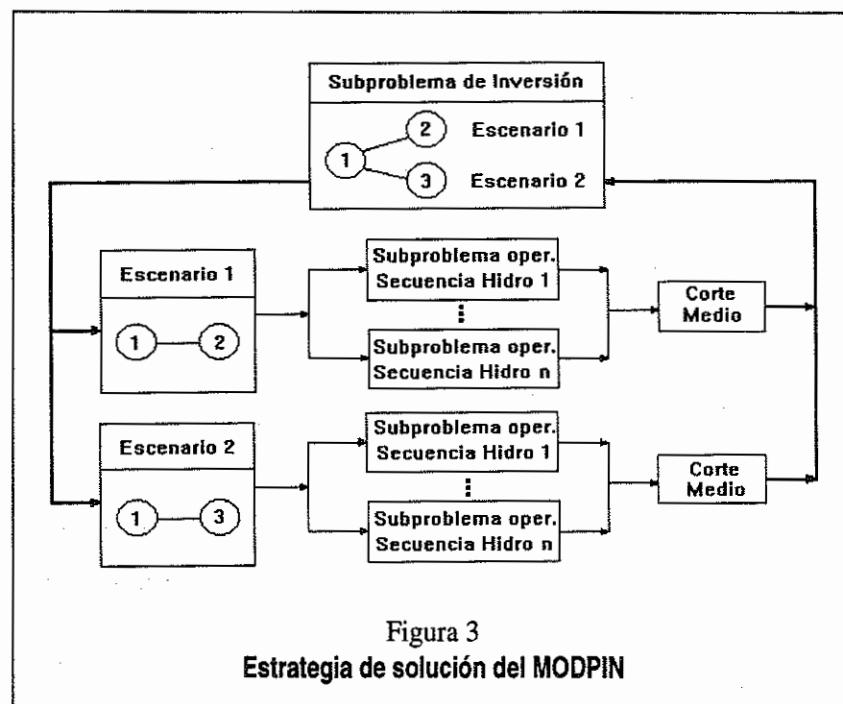
- Representación explícita de incertidumbres en variables tales como: demanda, costos de combustibles, períodos de construcción, costos de inversión e hidrología.
- Representación de restricciones financieras para asegurar, por ejemplo, que un plan de expansión no exceda la capacidad de pago de una empresa eléctrica.
- Obtención de estrategias de mínimo riesgo, más que planes "óptimos" de mínimo costo.
- Adaptación de decisiones de acuerdo con los valores observados en ciertas variables, emulando así la forma de actuar de los planificadores.
- La solución matemática del problema de optimización utiliza técnicas de descomposición. Las variables de decisión pueden ser proyectos hidráulicos con o sin embalse, plantas térmicas y líneas de transmisión entre subsistemas. La operación óptima de los embalses puede ser simulada cuando sea necesario.

Este modelo tiene también dos ventajas atractivas: *modularidad* (Se pueden utilizar los algoritmos más apropiados para inversión y operación) y *flexibilidad* (diferentes escenarios se pueden representar para modelar incertidumbres).

El problema de planificación de expansión puede dividirse en dos subproblemas: *inversión* y *operación* y puede entenderse como un proceso de decisión en dos etapas: en la primera, se toman decisiones de expansión; estas decisiones son analizadas en una segunda etapa (donde la operación del sistema se simula, incluida la decisión de expansión) para retroalimentar la primera etapa. Con base en los costos de operación se reformula la estrategia de expansión, la cual es analizada de nuevo en una segunda etapa y así sucesivamente.

De acuerdo con este proceso, en el MODPIN el problema de expansión óptima con factores de incertidumbre se descompone en dos subproblemas (inversión y operación) y se resuelve utilizando el algoritmo conocido como "*Descomposición de Benders*". El proceso de descomposición para un problema con 2 períodos y 2 escenarios se muestra en la Figura 3.

El subproblema de inversión es un problema multi-período de programación mixta (lineal-entera), el cual produce estrategias tentativas de inversión para todo el período de planificación en cada iteración. Este problema se resuelve usando el algoritmo de "*Branch and Bound*". La función objetivo es *minimizar el máximo arrepentimiento*, en donde el arrepentimiento para una decisión en un escenario dado es la diferencia entre el costo real y el costo calculado cuando los valores de las



variables de incertidumbre son conocidos por anticipado.

La estrategia propuesta para cada uno de los dos escenarios considerados en el ejemplo es evaluada por el subproblema de operación. Este es un problema de decisión estocástica, multi-período, multi-embalse, que consiste en encontrar la operación óptima de un sistema hidrotérmico y el cual se resuelve utilizando un *algoritmo de flujo de mínimo costo en redes con ganancia*. La aleatoriedad de los aportes se modela mediante el uso de un conjunto n de secuencias hidrológicas, cada una con una probabilidad dada de ocurrencia. El costo esperado de operación se obtiene multiplicando el costo correspondiente a cada secuencia por su probabilidad de ocurrencia.

Los dos subproblemas se integran por medio de la técnica de descomposición generalizada de *Benders*. Este es un proceso iterativo que, para cada plan de inversiones, da información de las consecuencias de las decisiones sobre los costos de operación. Esta información (corte de *Benders*), obtenida por la solución del subproblema de operación, es suministrada con base en vectores de sensibilidad que dan la variación en los costos de operación ante un cambio incremental en el plan de inversiones.

En cada iteración entre los subproblemas de inversión y operación, la función que relaciona el valor esperado de los costos de operación y los costos del plan de inversiones es actualizada, hasta lograr una solución óptima.

6. MODULO DE EXPANSION (MODEXP)

El problema de la expansión en la capacidad de generación eléctrica presenta una complejidad cada vez mayor debido al aumento en el tamaño de los sistemas, sus posibilidades de interconexión, la aleatoriedad del aporte de la plantas hidroeléctricas y las presiones que estas inversiones provocan sobre las finanzas de las empresas de energía eléctrica.

El objetivo del MODEXP es determinar un conjunto de obras y su cronograma de entrada en funcionamiento, tal que minimice los costos esperados de inversión y operación, sin violar las restricciones asociadas: plazos de construcción, limitaciones técnicas de los equipamientos y límites de inversión.

La estructura de este problema se descompone, al igual que en el MODPIN, en dos subproblemas: Inversión y operación. El subproblema de inversión tiene por objeto la selección de plantas generadoras y enlaces de transmisión con sus fechas de entrada en funcionamiento. El de operación busca minimizar el valor esperado de los costos de operación para cada propuesta de inversión, teniendo en cuenta la aleatoriedad de los aportes.

La integración entre estos dos subproblemas se hace mediante un proceso iterativo que suministra al subproblema de inversión informaciones sobre las consecuencias de las decisiones de inversión en el valor esperado de

los costos de operación, obtenida de la solución del subproblema de operación. A su vez el subproblema de inversión determina un nuevo plan óptimo, con base en el monto de los recursos para inversión y el valor estimado del costo de operación.

En el MODEXP el submódulo de despacho ofrece dos opciones de operación. La primera, resuelve el problema agregando los embalses de cada subsistema y obteniendo la solución óptima para cada una de un grupo de secuencias hidrológicas utilizando programación lineal; finalmente calcula el valor esperado de los costos de operación con base a la probabilidad de ocurrencia de cada secuencia.

La segunda opción del despacho representa más detalladamente el sistema, modelando individualmente cada central hidroeléctrica; la solución se obtiene mediante un algoritmo de Programación Dinámica Dual Estocástica PDDE que utiliza dos variables de estado (nivel del embalse e hidrología). Esta técnica evita la "maldición de la dimensionalidad" inherente a la programación dinámica clásica ya que no necesita discretizar las variables de estado de cada embalse. Ambas opciones del despacho permiten representar hasta 6 subsistemas o países.

Desde el punto de vista algorítmico, el módulo está basado en las técnicas de descomposición similares a las que utiliza el MODPIN; sin embargo, en el caso del MODEXP la simulación de la

operación del sistema es más detallada y considera la posibilidad de tomar decisiones de construcción en cualquier mes del año y modelar los mantenimientos programados de las plantas a nivel mensual.

7. MODULO TÉRMICO (MODTER)

Este módulo se usa para obtener planes de expansión en sistemas predominantemente térmicos. Para ello se utilizan el WASP III y el COSMOS (COSTos Marginales de Operación de Sistemas). El COSMOS fue desarrollado por OLADE para la simulación de sistemas térmicos y para el cálculo de costos marginales. Los objetivos de este módulo son los siguientes:

- a) Obtener planes de expansión de mínimo costo para sistemas térmicos grandes empleando el WASP III.
- b) Calcular los costos marginales de corto plazo para cada nivel de la Curva de Duración de carga y el beneficio marginal de proyectos térmicos mediante el programa COSMOS.
- c) Producir planes de expansión de mínimo costo para sistemas térmicos pequeños, empleando el COSMOS. Debido a que la representación de la curva de duración carga mediante Series de Fourier utilizada por WASPIII, es inadecuada para sistemas térmicos pequeños, en los cuales las unidades de generación son relativamente grandes comparadas con la demanda, el COSMOS simula

el despacho por medio de convoluciones directas sin utilizar Series de Fourier.

8. MODULO DE DESPACHO HIDROTERMICO (MODDHT)

Este módulo simula la operación de mínimo costos de sistemas hidrotérmicos e incluye las siguientes funciones:

- a) Cálculo de subsistemas equivalentes
- b) Obtención de la política óptima de operación
- c) Simulación de la operación del sistema
- d) Cálculo de los costos marginales de operación
- e) Cálculo de los beneficios marginales de las interconexiones
- f) Cálculo de los beneficios marginales de proyectos térmicos

Con este módulo pueden representarse hasta 6 regiones interconectadas, cada una de las cuales es representada por una demanda, un embalse equivalente, una central de pasada y un conjunto de plantas térmicas. Las políticas óptimas de operación de los embalses se obtienen en función de su contenido y de la tendencia hidrológica, mediante la utilización de programación dinámica estocástica. El despacho optimiza la operación del sistema térmico en relación con el uso del agua, tomando en cuenta que la demanda no suplida mediante las plantas hidroeléctricas debe ser atendida con las plantas térmicas.

Los intercambios se simulan mediante algoritmos heurísticos, con base en los costos marginales de operación a fin de igualar estos últimos entre los distintos subsistemas. Para el efecto pueden utilizarse datos históricos de caudales naturales o series sintéticas de energías afluentes producidas por el MODDHT, a opción del usuario.

Se permiten tanto una simulación dinámica (demanda y configuración variables) como una estática (demanda y configuración constantes).

9. MODULO FINANCIERO (MODFIN)

Este módulo tiene como objetivo básico el análisis de la gestión financiera de las empresas, en forma integrada con los planes de expansión del sistema.

El análisis que realiza el MODFIN está basado en las prácticas financieras normalmente aceptadas, por lo cual se parte de una serie de relaciones padronizadas. Los reportes que produce el módulo tienen un significado similar en la mayoría de las empresas eléctricas, exceptuando ciertas características propias de cada país.

Los resultados que produce el MODFIN están orientados principalmente a los niveles de toma de decisión dentro de la empresas, a los organismos de control y a las entidades financieras nacionales e internacionales.

Este módulo consta de diez submódulos, a saber:

- a) Detalle de Inversiones
- b) Evolución de los activos
- c) Evolución de la depreciación
- d) Procesamiento del servicio de la deuda
- e) Resultados operacionales
- f) Balance de situación
- g) Fuentes y usos de fondos
- h) Flujo de caja
- i) Indicadores financieros y de gestión.
- j) Consolidación de empresas

El MODFIN presenta una gran versatilidad ya que puede realizar análisis en moneda corriente o en moneda constante, en moneda local o en moneda extranjera; pudiendo fácilmente trasladarse a cualquiera de estas opciones. También permite, con pequeñas adaptaciones, analizar empresas consolidadas.

10. MODULO DE IMPACTOS AMBIENTALES (MODAMB)

Este módulo evalúa los impactos ambientales de los proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos y, establece un orden de prioridad de acuerdo con esos impactos. Actualmente el módulo está basado en un modelo de análisis ambiental de la Empresa Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) de Colombia. Se planea incluir en un futuro el análisis de los impactos de las plantas termoeléc-

tricas añadiendo al SUPER el módulo IMPACTS del Modelo ENPEP.

El MODAMB utiliza cinco objetivos que son:

- a) Impactos en el medio físico
- b) Impactos en el medio biótico
- c) Población desplazada
- d) Costos regionales
- e) Beneficios regionales

Cada objetivo se calcula a partir de datos obtenidos de los estudios de factibilidad de los proyectos.

A pesar de que la metodología utilizada para evaluar los planes es sencilla, se requiere realizar un esfuerzo importante en la recolección de datos, en particular en la elaboración de una función multi-objetivo de consenso. La metodología ha sido utilizada por ISA después de una serie de pruebas y análisis que han demostrado su validez y robustez.

11. ESTADO ACTUAL DEL MODELO Y EXPERIENCIAS

El desarrollo del modelo SUPER se inició en Setiembre de 1991 y la primera versión se terminó en Diciembre de 1993. Participaron 14 consultores, 2 analistas, una empresa consultora y el Centro de Pesquisas de Energía Eléctrica de Brasil. Así mismo se conformó un cuerpo asesor de alto nivel con la participación de el Banco Mundial, el Argonne

National Laboratory, la Bonneville Power Administration y el Organismo Internacional de Energía Atómica.

El SUPER ha sido distribuido a más de 50 usuarios entre los que se cuentan 3 organismos internacionales, 6 universidades y centros de investigación, 28 empresas eléctricas públicas y privadas y 5 ministerios y dependencias ministeriales de América Latina y el Caribe. Se han dictado cursos de entrenamiento a 8 empresas eléctricas, una empresa consultora canadiense y a 30 especialistas del área de energía del BID.

Como parte del desarrollo del modelo se realizaron 4 estudios de casos (Interconexión de América Central, Colombia, Brasil y Jamaica), 4 talleres de divulgación y 1 seminario de diagnóstico en los cuales participaron todos los países miembros de OLADE y del BID.

Durante el año 1994 el modelo se ha utilizado en la realización de diversos estudios para varios países de la región entre los que se cuentan Venezuela, Colombia, El Salvador, Nicaragua y Panamá. En la ejecución de estos trabajos OLADE ha apoyado a los países de acuerdo a las necesidades particulares de cada uno, bien sea con cursos intensivos en el uso de la herramienta o asesorías puntuales.

Con el Global Environment Facility (GEF) se realizaron dos estudios de caso para la determinación de los costos incrementales asociados con la reducción de las emisiones de CO₂ producidas por

la generación de energía eléctrica: uno en Colombia y otro en Costa Rica, cuyos resultados se presentaron en un seminario realizado en Quito-Ecuador en Julio de 1994.

En Setiembre de 1994 se comenzó a distribuir la versión 1.1 del SUPER. Esta versión incluye mejoras importantes entre las que cabe destacar la inclusión en el MODEXP de una opción de despacho individualizado de plantas hidroeléctricas, así como la

ampliación de algunas limitaciones de la primera versión.

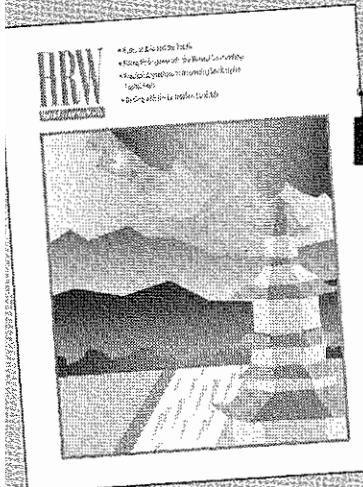
Como parte de las actividades de mantenimiento y mejoras del SUPER, en próximas versiones se incluirán algunas características adicionales entre las que resaltan:

- Adaptación del modelo a los nuevos esquemas organizacionales del sector eléctrico (participación del sector privado y reestructuración de empresas)

- Ampliación del manual electrónico de ayuda
- Nuevo módulo de simulación con plantas hidráulicas individualizadas
- Guía para la elaboración de estudios
- Enlace con el módulo IMPACTS del ENPEP.

Without question, hydro is important to your country's energy future.

Now there is a way to access a wide range of information on critical hydro topics...



HRW

Hydro Review Worldwide

In each informative quarterly issue, you will receive articles written by professionals working in hydro around the world who share their experiences and expertise.

- Operations & maintenance practices
- Design & technology developments
- Dam safety & environmental issues
- Business trends & opportunities

There is no doubt—you'll benefit from *HRW* whether you're an administrator, technician, consultant, supplier, or developer.

Your annual subscription is just \$37 U.S.

Just complete the subscription form at right and return it, along with payment, and *HRW* will begin working for you!

For advertising information, contact Tom Simpson, 816-931-1311.

YES!

Please begin my subscription to *HRW, Hydro Review Worldwide*. I will receive 4 issues in the next 12 months.

Check enclosed (\$37 U.S.) Checks payable through a U.S. bank.

Charge my credit card:
 Visa MasterCard
 AMX Discover

Account number

Expiration date

Signature

Name

Company

Address

City

State/Province

Zip/Postal Code

Country

Phone

Fax

Mail completed form and payment to:
HRW
410 Archibald Street
Kansas City, MO 64111
U.S.A.
816-931-1311 Fax 816-931-2015

REVISTA ENERGETICA

La Revista Energética es publicada cuatrimestralmente por la Secretaría Permanente de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

La Revista Energética le ofrece la oportunidad de llegar con su publicidad a un amplio sector de lectores vinculados a la economía, las finanzas, la política y la energía.

Contrate lo más pronto sus espacios de publicidad a los siguientes costos:



1 página
1 full page

US\$300

1/2 página
1/2 page
US\$150

1/4 página
1/4 page
US\$80

Diríjase a: Secretaría Permanente de OLADE

Edificio OLADE, Av. Occidental, Sector San Carlos, Casilla 17-11-6413, Quito-Ecuador, Tfns. 538280 / 539676, Fax: (593-2) 539684,
Télex: 2-2728 OLADE-ED

Power to keep you



Completely factory engineered and project managed, 2 floating barges with 10 Vasa 18V32 Wärtsilä Diesel generating sets each were in place 8 months after contract signing. Delivering 110 MW of power, this project is helping this Latin American country keep their growth on an even keel.

Puerto Quetzal, Guatemala

economy afloat.

Whether floating on a river or built on solid ground, Wärtsilä Diesel Group power plants are delivering reliable power to the world's emerging countries – for improvement in living standards as well as industrial development.

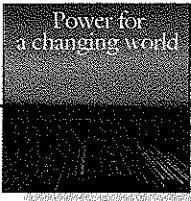
For capacities up to 150 MW, advanced diesel technology is now the most efficient method of power generation. And a turnkey plant from the Wärtsilä Diesel Group is the best way to get that power, quickly and cost-effectively. We'll engineer, project manage, construct, even arrange financing for complete power plants. Compatibility of all components and systems is assured. If desired, we'll operate and maintain the plant for you, too. Innovative Wärtsilä Diesel base load power generation has proven to be a long-term solution for meeting demands for more power.

We'd like to share all the facts on modern, clean diesel power generation with you. Our new book has all the information you need to understand the technology and determine if it's right for you.

Companies and organizations around the world have come to rely on our power plants for efficient and economical power production. Whether you're in equatorial jungles, desert sand or arctic tundra, the Wärtsilä Diesel Group can help you keep your development on a steady course.

Send today for the facts on diesel power generation.

POWER PARTNERS



DGT.01

Yes, please send me a copy of *Power for a changing world*.

Please have your local representative call me.

Name _____

Title _____

Company _____

Address _____

Telephone _____

Please send your coupon to: Wärtsilä Diesel Oy, Box 252, SF-65101 Vaasa, Finland.
Telecopier +358-61-356 9133.

WÄRTSILÄ DIESEL
G R O U P

Wartsila Diesel Guatemala S.A., Ia. Avenida 12-46 Zona 10, Villa Magna, Oficina 402, Guatemala, C.A. 01010, Telephone +502-2-347 445, Telefax +502-2-347 44
Wartsila Diesel, Inc., 2101 NW 79th Avenue, Miami, FL 33122, Telephone +1-305-591-0587, Telefax +1-305-591-0925

POWER FOR A CHANGING WORLD

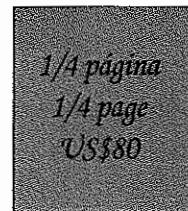
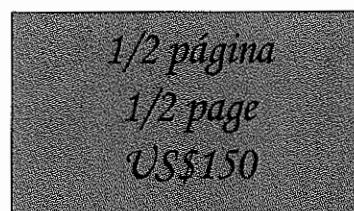
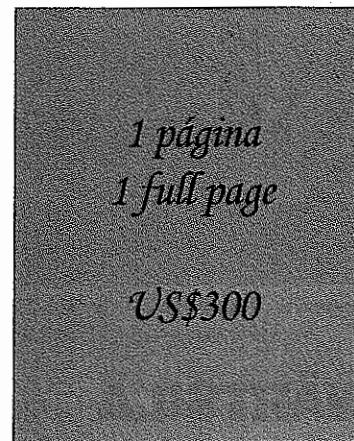
ENERGY MAGAZINE



The Energy Magazine is published three times a year by the Permanent Secretariat of the Latin American Energy Organization (OLADE).

The Energy Magazine provides you with the opportunity to place your ads in its pages and to reach a wide range of readers involved in economics, finance, politics, and energy activities.

Purchase space for your publicity as soon as possible at the following rates:



Please contact: Permanent Secretariat of OLADE

OLADE Bldg., Occidental Av., San Carlos Sector, P.O. Box 17-11-6413, Quito-Ecuador, Ph. 538280 / 539676, Fax: (593-2) 539684,
Telex: 2-2728 OLADE-ED

SUPER/OLADE-BID: Power System Generation and Interconnection Planning Model for Use by Public and Private Utilities and Investors

INTRODUCTION

Electric power planning requires rapid and efficient analytical tools that enable information to be adequately presented to decision makers. Some countries of the Latin American and Caribbean (LAC) region have been pioneers in the incorporation of important elements, such as hydrological risk and other uncertainties, into power planning, but these breakthroughs are not available for most countries. In view of this, recent achievements need to be integrated into the development of models that can be used by all countries of the region.

Bearing this situation in mind, the Latin American Energy Organization (OLADE) and the Inter-American Development Bank (IDB) entered into a cooperation agreement to establish a program aimed at supporting the energy sector of the LAC region, including a project to improve electric power generation planning tools

The microcomputer-based model, called SUPER/OLADE-BID, consists of eight modules for performing power generation and transmission planning for

both private and public utilities. The user accesses these modules through a graphical user interface (GUI) based on Windows.

Multi-area power systems with multiple multi-annual reservoirs are suitably represented. Optimization and simulation capacities are provided, with equivalent reservoirs or individual hydraulic plants, to enable obtaining a least-cost plan. SUPER also produces expansion strategies which take into account uncertainties in variables such as demand growth, fuel costs, construction schedules, and hydrological behavior. The simulation modules provide indicators suitable for private investors and the impacts modules evaluate the environmental and financial impacts of the expansion plans.

This project has been technically supported by several institutions: the Inter-American Development Bank, the World Bank, Argonne National Laboratory, International Atomic Energy Agency, Bonneville Power Administration, Tellus Institute of Boston, Electric Power Research Center of Brazil, and several power utilities of the region.

The main functions of the modules are as follows:

MODDEM Demand Module: On the basis of historical data, it models demand in a suitable format for the other modules. It conducts the economic analysis of energy-conservation and demand management programs.

MODHID Hydrology Module: It rebuilds natural inflows on the basis of reservoir operation records. It fills in missing historical information on flows and generates synthetic hydro sequences and produces hydro events for other modules.

MODPIN Planning Under Uncertainty Module: It finds least-risk investment strategies, under uncertainty in variables such as demand, fuel costs, construction schedules and project costs.

MODEXP Expansion Module: It produces the least-cost expansion plans for interconnected hydro-thermal systems. It includes a dispatch with individual hydraulic plants based on dual dynamic stochastic programming.

MODDHT Hydro-Thermal Dispatch Module: It simulates the optimal operation of the interconnected hydro-thermal systems. It calculates the short-run marginal costs and marginal benefits of thermal plants and interconnections. It uses dynamic stochastic programming with equivalent reservoirs.

MODTER Thermal Module: It determines a least-cost expansion

plan for predominantly thermal systems, including small thermal systems. It calculates short-run marginal costs and marginal benefits of thermal plants. This module includes the WASP III program.

MODFIN Financial Module: It performs a financial analysis of the utility.

MODAM Environmental Module: It produces environmental analyses of expansion plans, using five objectives: impacts on the physical and biotic environment, displaced population, regional costs, and regional benefits.

1. DECISION-MAKING PROCESS IN THE ELECTRIC POWER SECTOR

Electric power, because of the role it performs in a country's economic development, exerts considerable impact on the orientation of its options: as a back effect, it influences the industrial structure, justifying the installation of builders of electromechanical equipment; as a an effect on the future, it makes available to industrial users a product that is able to compete with other energy sources such as coal, oil, gas, etc.

Energy sector characteristics are quite specific:

- Long lead times and implementation schedules due to studies and implementation of generation projects.
- High financial requirements.

- The highly unequal distribution of natural resources.

All of this generates a series of substantial risks for any type of economy:

- The decision making involved jeopardizes the future with long-term commitments
- The difficulty of striking a balance between supply and needs, since medium-term forecasting is hard to perform.
- The evolution of the world displays political and economic uncertainty.

The useful life of production stations, whether thermal, hydraulic, or nuclear stations, is estimated in terms of decades. All stations are installed to last and to provide service to the system for a long period of time. It is therefore understood that the decision to undertake such capital-intensive installations programs can only be taken after an in-depth analysis of a highly uncertain future.

All the parameters are governed by this random character: first, the evolution of electric power demand keeps pace with national and international pace of development; second, the price of different fuels is affected in turn by the selection made by the power sector in the whole world; randomness is also a characteristic of interest rates, the productivity of hydraulic installations, climate variations, the availability of stations, and national and global environmental regulations.

The problem consists of determining the optimal program for the installations of generation stations and transmission systems that permit supplying future demand and respecting certain technical and economic constraints.

Nevertheless, the wide variety of alternatives, the different technical and economic characteristics of the various means of generation, and the interdependence between them at a given moment and over time transform the economic problem in something especially complex that justifies the use of mathematical programming methods.

Sometimes, inappropriate optimal plan obtainment programs are used for predominantly hydraulic systems with a high regulatory capacity, which for example lay emphasis on the reliability of power capacity, superficially handling energy reliability and ignoring the operation of reservoirs with a higher regulation capacity than that of the optimization period of the algorithm.

The planning tools used are frequently deterministic and use one single optimization criterion (cost minimization). The scenario analysis used obtains the optimal expansion for a given demand growth path but does not study what occurs when one scenario is planned and another actually occurs.

Usually demand-side alternatives are not considered, although they should be modelled

and optimized along with the more traditional supply-side options.

In particular, energy conservation and rational use of energy are attractive options, since they minimize uncertainties in demand growth, have a short implementation time, reduce the need for generation and transmission building, and display a high geographical dispersion, which minimizes negative socioeconomic impacts.

Generally, programs are not differentiated in terms of their risk level or flexibility of installation. Large-scale projects, for example, show considerable risks with respect to demand growth, with respect to small projects that are more adaptable. On occasion, hydropower projects imply specific risks related to lead times and with geological characteristics. Another type of risk is the environmental impacts and performance of new or insufficiently tested technologies.

Oftentimes, financial constraints are not taken into consideration when expansion plans are prepared. These may stem not only from internal difficulties in the power utility or the country, but also from the shortage of international funds for this type of project, which can lead to disruptions in the optimal plan.

Some countries lack an operational planning that could optimize the system's operation, making it compatible at the same time with expansion planning. It is important to insist on the need

for consistency between planning and operation.

One aspect that is rarely considered is the computer technology available to facilitate the use of models (interface with the user and interactiveness between the programs needed to respond to questions about planning) and their documentation. The latter is particularly inadequate in many cases, which makes maintenance difficult.

At the Conference entitled Policy Challenge for the Nineties: Overcoming the Electric Power Sector Crisis in the Countries of Latin America and the Caribbean held in Cocoyoc, Mexico on September 4-6, 1991, emphasis was laid on the importance of improving the power planning instruments and methodologies used in the region, in order to optimize the allocation of the few resources available for operating and expanding power systems, in view of the risks associated to the uncertainty prevailing in the different parameters involved in the sector, the rational use of energy options, the substitution of some energy products for others, and the financial constraints of the power utilities in charge of supplying electricity.

The SUPER/OLADE-BID program was based on the premise that at present the Region has enough know-how and experience to assemble a computer system that could meet the needs of the energy planners of the member countries of IDB and OLADE.

2. MODEL STRUCTURE AND MAN-MACHINE INTERFACE MODULE

The various levels of analysis provided by the modules are depicted in Figure 1. On the first level, *basic data* of both the hydrology module (MODHID) and the demand module (MODDEM) are prepared for the other modules down the hierarchy. The *optimization* level provides the planner with the choice of obtaining either a *strategy* or a *least-cost plan*. MODPIN is for strategic planning, whereas MODEXP and MODTER are used for defining least-cost optimal plans, the former in hydro-thermal systems and the latter in large thermal systems.

The *simulation* level provides tools for the analysis of hydro-thermal systems, using for this purpose the MODDHT and using for the analysis of the operating costs of thermal systems (large and small) COSMOS (COSTos Marginales de Operación de Sistemas). On the *impact* level, environmental effects can be determined using MODAM whereas financial analyses can be performed with MODFIN.

Communication between the user and the SUPER modules takes place through the man-machine interface module (MMI), based on the program Windows, as indicated in Figure 2. The MMI module has been programmed using Microsoft Visual Basic.

The main tasks performed by the MMI module are:

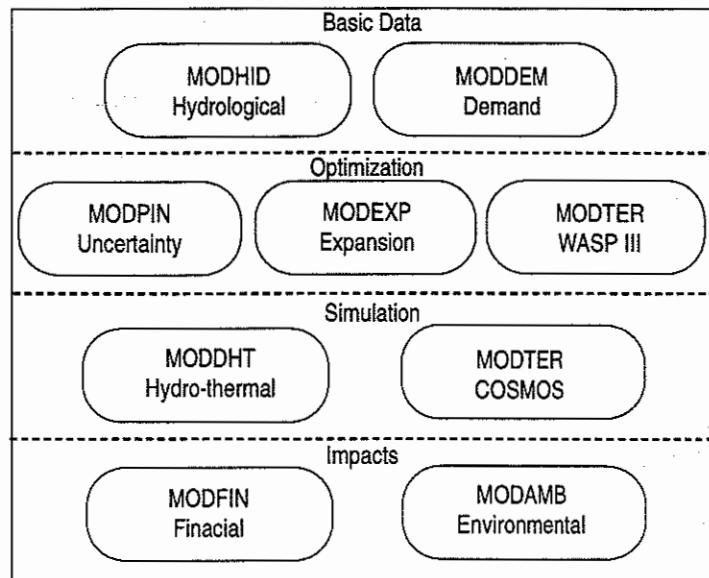


Figure 1
SUPER/OLADE-BID Modules

Data organization

The data are organized in a hierarchical structure of *planning studies* and *cases*. Each planning study has several cases, one of which is the *master case*. Other cases can be created either from

the data for the master case or from another existing case. The data for each case are saved in compressed format, and optimum storage techniques are used to avoid data duplication from case to case.

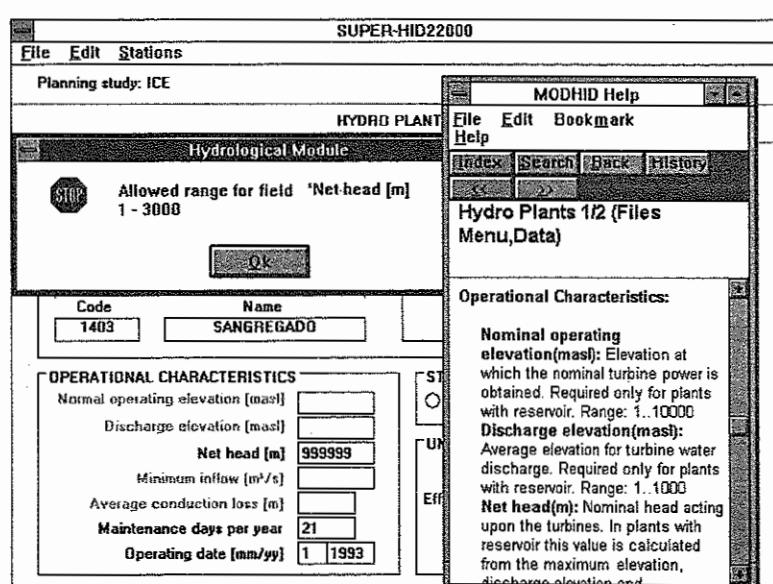


Figure 2
Man-Machine Interface

User-database interaction

All the data are stored in a *relational data base* that is accessed by the user through a set of easy-to-use screens, in which data inclusion and deletion operations are performed, with on-line helps and data validation, which are carried out at the moment of inputting the information and before executing the modules. The latter validation is to ensure consistency among the different sets of information. The models then read the data from ASCII-format files created by the MMI module.

User-models communication

After the user has inputted or modified the data for a particular model, it can be executed by selecting the appropriate menu item. Once the user has revised the results and agrees with them, a small program is executed that makes them accessible to the other SUPER modules (for example, the demand module produces the load demand curves for the optimization and simulation modules).

Presentation of results and linkages with other Windows programs

The results of each module are presented mainly in charts and ASCII-format reports. As with other Windows applications, SUPER supports cut/paste operations, which means that the user can easily export graphics or reports to the word processor, spreadsheet or presentation program of his preference.

Languages

The SUPER has the capacity to use different languages without any need to alter the executable programs. There is a series of editable files where all the messages and titles using the different modules can be found. Two versions of the model are available: Spanish and English. Versions in other languages can, however, can be prepared.

3. DEMAND AND CONSERVATION MODULE (MODDEM)

Dispatch simulation and optimization models have developed techniques which bring them increasingly closer to actual electric power system operations. Thus, they require models that represent demand as accurately as possible. In addition, rational use of energy has created the need to develop energy-conservation and load-management (ECLM) programs to reduce the investments aimed at expanding generating capacity.

The main purpose of this module is to prepare load-curve models based on historical information and demand projections supplied by the user. The MODDEM then produces this information to be used by the other SUPER modules.

MODDEM also simulates and evaluates ECLM programs, and it predis dispatches non-conventional sources of energy (small hydropower, cogeneration, solar and wind energy, etc.) and conducts programmed exchanges of

energy between generating or consuming utilities with special schemes.

The model has the capacity to work with up to six interconnected subsystems, which can be associated either to regions within the country, power utilities, or zones that have different hydrological regimes. Within the subsystems there are regions and within the regions there are consumption sectors.

Demand curve modeling takes place at three levels:

- a. Hourly load curves, for typical days of the week, up to a maximum of 10 regions and 10 types of consumption.
- b. Continuous load-duration curves, for weekly or monthly periods.
- c. Staircase-shaped load duration curves (up to a maximum of 5).

ECLM programs and predispatching from non-conventional plants are simulated on the basis of daily-load models. The ECLM programs are evaluated in economic terms using, as a reference, on the benefit side, energy and capacity savings in generation, transmission and distribution, valued according to marginal costs produced by the simulation modules (MODDHT or MODTER). These costs refer to investments and to operating and administrative costs for the ECLM programs. The process also takes into consideration the eventual degradation of the ECLM programs over time.

4. HYDROLOGY MODULE (MODHID)

The objective of this module is to supply hydrological information for the simulation and optimization modules in the appropriate format. Specifically, MODHID produces the following:

- a. Original flows to each project site for a given period, discounting the effects of system operation and taking into account evaporation and water uses other than generation. This might require completing missing information in the historical records for that period.
- b. Hydrological sequences for the simulation of dispatch in MODPIN and in MODEXP.
- c. Available and minimum energy, peak capacity, and stored energy for each hydropower project, time period and hydro-condition defined in the Thermal Module (WASP III).

The representation of the hydro system must preserve the statistical properties of natural inflows. For this purpose the *Matalas* model is used. It is basically a self-regressive model of order 1 which uses the correlation matrices of order 0 and 1 to represent the hydrologies.

The parameters of the Matalas model are estimated using the *Crosby-Maddock* methodology, which makes it possible to consider different lengths of historical data for each station.

For stations with incomplete information, a *Kalman* filter and the temporal and spatial evolution structure of the time series and the theory of uncertain dynamic systems are used. The model that is obtained permits filling in the missing data and extending the series beyond the range where there is no information.

To obtain project-specific energy information for the Thermal Module, a disaggregated simulation model is used. This model obtains optimum hydro system operation so as to maximize annual energy. The annual energy values for each project are then disaggregated by seasonality factors, and these values are adjusted by means of an empirical probability distribution function. Finally the average values of energy and available capacity for each probability range (hydro-condition) are calculated.

5. PLANNING UNDER UNCERTAINTY MODULE (MODPIN)

This module is capable of establishing a *power generation expansion strategy* which takes into account uncertainties in the performance of the most important variables in the planning process. Its specific characteristics are as follows:

- a. Explicit representation of uncertainties in variables such as demand, fuel costs, construction periods, investment costs, and hydrology.
- b. Representation of financial constraints to ensure, for

example, that the expansion plan will not exceed the power utility's capacity to pay.

- c. Obtainment of least-risk strategies rather than "optimal" least-cost plans.
- d. Adaptation of decisions according to the values observed in certain variables, thus imitating the performance of planners.
- e. Mathematical solution of the optimization problem using decomposition techniques. Decision variables could be hydropower projects with or without reservoirs, thermal plants, and transmission lines between subsystems. The optimal operation of reservoirs will be simulated whenever necessary.

This model also has two attractive advantages: *modularity* (algorithms that are more appropriate for investment and operation can be used) and *flexibility* (different scenarios can be represented in order to model uncertainties).

It should be noted that the expansion planning problem can be divided into two subproblems: *investment* and *operation*. This problem can be understood as a decision-making process in two stages: In the first, expansion decisions are made (investments are made). These decisions are analyzed in the second stage (where operation of the system is simulated, including the decision to expand) and are fed back to the first stage. Thus, based on operating

costs, the planner reformulates the expansion strategy, which is analyzed once again in the second stage, and so on.

According to this, in MODPIN, the optimal-expansion problem with uncertainty factors is decomposed into two subproblems (investment and operation) and is resolved using an algorithm known as "*Benders decomposition*". The decomposition process for a two-period problem with two scenarios is shown in Figure 3.

The investment subproblem is a multiple-period mixed-programming (linear-integer) problem, which produces tentative investment strategies for the whole planning period in each iteration. This problem is solved using a *Branch and Bound* algorithm. The objective function is to minimize the maximum regret.

The regret for a decision in a given scenario is the difference between its real cost and the cost calculated when the values of the uncertainty variables are known in advance.

The proposed strategy for each of the two scenarios considered in the example is evaluated by the operation subproblem. This is a multi-period, multi-reservoir, stochastic decision problem, which consists of finding the optimum operation for a hydro-thermal system. It is resolved using a *least-cost network flow with gains* algorithm. The randomness of the reservoir inflows is modelled using a group of n hydro sequences, each of which has a given probability of occurring. The expected operating cost is thus obtained by multiplying the operating cost for each sequence by its probability of occurring.

The two subproblems are integrated through the widespread *Benders decomposition* technique. This is an iterative process that, for each investment plan, provides information on the decision's consequences for operating costs. This information (Bender cut), obtained by solving the operation subproblem, is supplied by the sensitivity vectors that give the operating cost variation for an incremental change in the investment plan.

In every iteration between the investment and operation subproblems, a function that relates the expected value of the operating cost to the investment plan cost is updated, until the optimal solution is reached.

6. EXPANSION MODULE (MODEXP)

The issue of expanding electricity-generating capacity is increasingly complex due to the increase in system sizes, interconnection possibilities, the randomness of contribution of hydropower plants, and the pressures which investments in expansion exert on power utility finances.

The aim of MODEXP is to determine a set of projects and the schedule for their commissioning, so as to minimize expected investment and operating costs without violating the associated restrictions such as construction deadlines, technical limitations of installations, and investment constraints.

Structurally, this problem can be broken down, just as in

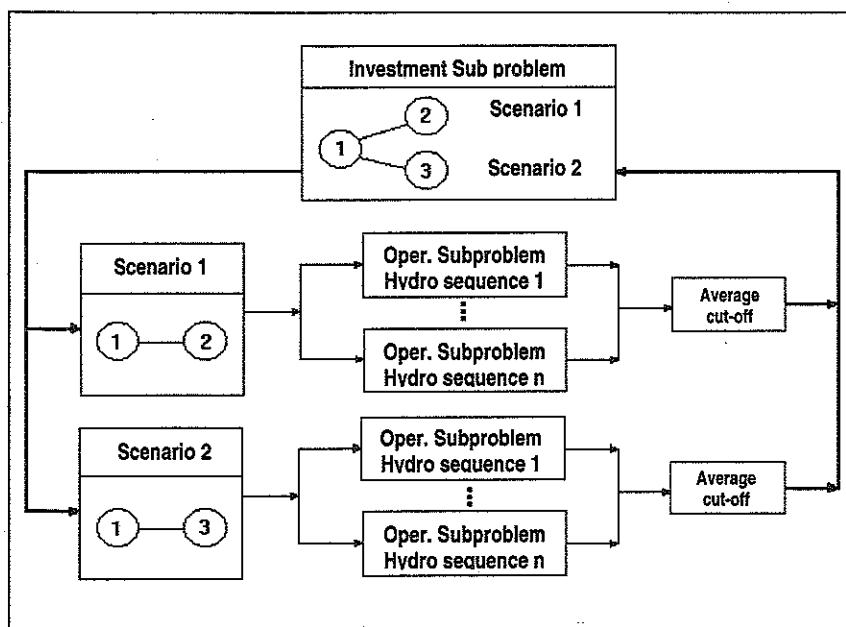


Figure 3
MODPIN solution strategy

MODPIN, into two subproblems: investment and operation. The objective of the investment subproblem is to select generating plants and transmission lines, with their start-up dates, whereas the objective of the operation subproblem is to minimize the expected operating costs for each investment proposal, keeping in mind the randomness of the contributions.

These two subproblems are integrated through an iterative process that provides information on the consequences of investment decisions for the expected value of operating costs, obtained from resolving the operating subproblem. In turn the investment subproblem determines a new optimal plan, based on the amount of resources for investment and the estimated value of the operating cost.

In the MODEXP, the dispatch submodule offers two operating options. The first is to resolve the problem by adding the reservoirs of each subsystem and obtaining the optimal solution for each one of a group of hydrological sequences using linear programming. Finally the expected value of the operating costs are calculated on the basis of the probability of occurrence of each sequence.

The second dispatch option represents the system in greater detail, modelling individually each hydropower station. The solution is obtained by means of a dual dynamic stochastic programming algorithm that uses two state vari-

ables (reservoir level and hydrology). This technique avoids the "damnation of dimensionality" that is inherent to classical dynamic programming since it does not require the state variables of each reservoir to be discrete. Both dispatch options enables the representation of up to six subsystems or countries.

From an algorithmic standpoint, the module is based on the same decomposition techniques used by MODPIN. In the case of MODEXP, however, system operation is simulated in greater detail and considers the possibility of making construction decisions any month of the year and modelling plant maintenance schedules on a monthly basis.

7. THERMAL MODULE (MODTER)

This module is used to obtain the expansion of predominantly thermal systems. For this, the WASP III and COSMOS (COSTos Marginales de Operación de Sistemas) programs are used. COSMOS was developed by OLADE for simulating thermal systems and for calculating marginal costs. The objectives of this module are as follows:

- a. To obtain optimal expansion plans for large thermal systems, using WASP III.
- b. To calculate the short-run marginal costs for each level of load duration curve and the marginal benefit of thermal projects by means of the COSMOS program.

c. To produce least-cost expansion plans for small thermal systems, using COSMOS. Since representation of the load duration curve with the Fourier Series used by WASP III is inadequate for small thermal systems, which have relatively large generation units compared to demand, COSMOS simulates dispatch through direct convolutions, without using Fourier Series.

8. HYDRO-THERMAL DISPATCH MODULE (MODDHT)

This module simulates the least-cost operation of Hydro-thermal systems and includes the following functions:

- a. Calculation of equivalent subsystems.
- b. Establishment of optimal operational policies.
- c. Simulation of the system's operation.
- d. Calculation of marginal operating costs.
- e. Calculation of marginal interconnection benefits.
- f. Calculation of marginal benefits of thermal projects.

Up to six interconnected regions can be represented with this module; each region is represented by one demand, one equivalent reservoir, one run-of-the-river station, and one set of thermal plants. Optimal reservoir operational policies will be

obtained in terms of their contents and hydrological tendency, using dynamic stochastic programming. The dispatch optimizes the operation of the thermal system with respect to the use of water, taking into account that the demand not covered by hydropower plants should be met by thermal plants.

The exchanges are simulated by means of heuristic algorithms, on the basis of marginal operating costs, in order to match the latter among the different subsystems. To this effect, they can use historical data of natural flows or synthetic series of inflowing energies produced by the MODDHT, at the option of the user.

Both a dynamic simulation (variable demand and configuration) and a static simulation (constant demand and configuration) are permitted.

9. FINANCIAL MODULE (MODFIN)

The basic objective of the financial module is to perform an integrated analysis of the utilities' financial management performance, taking into account power system expansion plans.

The analysis conducted by MODFIN is based on standard financial practices. Therefore, the point of departure is a series of standardized relations, so that the reports produced by this module have a similar meaning for most power utilities, with the exception of certain characteristics that might be inherent to each countries.

The MODFIN outputs are mainly aimed at the companies' decision-making levels within the utilities, the regulatory organizations, and national and international financial agencies.

This module consists of nine submodules:

- a. List of investments
- b. Evolution of assets
- c. Evolution of depreciation
- d. Debt servicing
- e. Operating results
- f. Balance sheet
- g. Funding sources and uses
- h. Cash flow
- i. Financial and management indicators
- j. Consolidation of companies

MODFIN is very versatile, since it can perform analyses in current or constant currency units and in local or foreign currencies, and can easily switch to any of these options. With slight modifications, MODFIN can also analyze consolidated companies.

10. ENVIRONMENTAL ANALYSIS MODULE (MODAM)

This module assesses the environmental impacts of the hydropower and thermoelectric projects and establishes an order of priority in accordance with

these impacts. At present, the module is based on a environmental analysis model of the Electric Power Interconnection Utility of Colombia (Empresa Interconexión Eléctrica S.A.—ISA). In the future, the analysis of impacts of thermoelectric plants will be included, adding the IMPACTS module of the ENPEP Model to the SUPER.

MODAM has five principal objectives:

- a. Impacts on the physical environment.
- b. Impacts on the biotic environment.
- c. Displaced population.
- d. Regional costs.
- e. Regional benefits.

Each objective is calculated on the basis of data obtained from the feasibility studies of the projects.

Although the methodology used to evaluate the plans is simple, an important effort is required to compile the data, especially the preparation of a multi-objective consensus function. The methodology has been used by the ISA after a series of tests and analyses that have demonstrated their validity and strength.

11. CURRENT STATUS OF THE MODEL AND EXPERIENCES

Development of the SUPER Model began in September 1991,

and the first version was terminated in December 1993. It involved the participation of 14 consultants, 2 analysts, 1 consulting firm, and the Electric Power Research Center of Brazil (Centro de Pesquisas de Energía Eléctrica). Likewise, a high-level advisory group of experts was established with the World Bank, Argonne National Laboratory, Bonneville Power Administration, and the International Atomic Energy Agency.

The SUPER has been distributed to more than 50 users, among which 3 international organizations, 6 universities and research centers, 28 public and private power utilities, and 5 ministries and ministerial agencies of Latin America and the Caribbean. Training courses have been provided to 8 power utilities, 1 Canadian consulting firm, and 30 energy area specialists from IDB.

As part of the model's development, 4 study cases were conducted (interconnection with Central America, Colombia, Brazil, and Jamaica), as well as 4

dissemination workshops and 1 assessment seminar in which all the member countries of OLADE and IDB participated.

During 1994, the Model has been used to conduct various studies for several countries of the region, among which Venezuela, Colombia, El Salvador, Nicaragua, and Panama. OLADE has supported the countries in carrying out these studies in accordance with the particular needs of each one, either through courses involving the intensive use of the model or specific advisory services.

Two case studies for determining the incremental costs of reducing CO₂ emissions stemming from electric power generation were carried out with the Global Environment Facility (GEF): one in Colombia and the other in Costa Rica. The results of these studies were presented at a seminar held in Quito, Ecuador in July 1994.

In September 1994, version 1.1 of the SUPER began to be distributed. This version includes

important improvements, among which the inclusion of an individualized dispatch option of hydropower plants in the MOD-EXP, as well as the enlargement to overcome several limitations of the first version.

As part of the maintenance and upgrading activities of the SUPER, the future versions will include some additional characteristics, among which the most important are:

- Adaptation of the model to the new organizational schemes of the power sector (participation of the private sector and restructuring the utilities)
- Enlargement of the electronic help manual.
- New simulation module with individualized hydraulic plants.
- Guide for preparing the studies.
- Linkage with the IMPACTS module of ENPEP.

Acondicionamiento de la Información para Construir Modelos Neuronales: Estudio de Caso del Precio Promedio del Crudo OPEP

Melio Sáenz y Carlos Galarza*
Diego Erazo y Mario Játiva**

INTRODUCCION

El principal problema al utilizar modelos basados en redes neuronales artificiales es el elevado tiempo de procesamiento necesario para preparar los valores de las variables que intervienen en los escenarios de previsión. Para paliar esta dificultad hemos escogido la vía de buscar nuevas formas de representación de la información, para lo cual en esta primera aproximación hemos ensayado un pre-acondicionamiento de la información mediante la utilización del análisis por componentes principales. Los resultados logrados permanecen en los mismos intervalos de precisión que aquellos obtenidos con el modelo neuronal sin pre-acondicionamiento, mientras que el tiempo utilizado en tratar la información es notablemente menor.

Elaborar pronósticos de precios en el sector petrolero requiere del uso de recursos humanos y tecnológicos sofisticados por parte de las empresas y gobiernos interesados en ejecutarlos. La serie de esfuerzos emprendidos en la década de los 70 condujeron a un desarrollo notable de los modelos algorítmicos. Desgraciadamente la complejidad de los escenarios petroleros no ha permitido alcanzar niveles razonables de precisión en la predicción de los precios del petróleo con la utilización de este tipo de modelos.

La disponibilidad actual de herramientas computacionales sofisticadas nos ha permitido abordar el problema de una manera no-algorítmica.

En trabajos anteriores (5, 6) pudimos constatar que los resultados obtenidos con los modelos basados en redes neuronales artificiales son de mejor calidad que aquellos calculados con los modelos algorítmicos tradicionales.

Con el presente trabajo buscamos reducir el tiempo de proce-

samiento de los datos, con la mínima pérdida de precisión en el pronóstico, para lo cual, antes de utilizar los modelos de redes neuronales, acondicionamos la información aplicando una técnica basada en el análisis de componentes principales.

1.- FORMULACION DEL PROBLEMA

En el estudio precedente (5, 6) sobre la previsión del precio promedio del crudo OPEP en el mercado internacional mediante modelos neuronales, verificamos que estos generaban resultados más confiables que aquellos obtenidos con los modelos algorítmicos , Oil Market Simulation System (OMS) y Harvard Oil Market Simulation System (HOMS), (3, 4, 7).

En el mencionado estudio utilizamos como información la publicada en los documentos estadísticos del sector petrolero y que guardan concordancia con los mo-

* Unidad de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico, PETROECUADOR

** Centro Latinoamericano de Cálculo Científico e Informática Industrial

delos algorítmicos referenciales, OMS y HOMS. Los datos se refieren a trece variables observadas durante 31 años, desde 1960 hasta 1990.

Para crear los escenarios de previsión, mediante la evaluación de los valores de las variables que permiten pronosticar en función del tiempo, a partir de 1991 en adelante, habíamos estudiado dos casos:

CASO 1: en el cual utilizando como variable independiente el tiempo, predecímos el comportamiento del sistema mediante la evaluación de todas las otras variables;

CASO 2: en el que los valores de las variables fueron obtenidos mediante redes neuronales específicas, entrenadas para cada variable en función del tiempo.

En los dos casos, los resultados obtenidos utilizando redes neuronales son de mayor precisión que aquellos calculados mediante los modelos algorítmicos, con el problema de excesivo consumo de tiempo de cálculo (5).

Para reducir el tiempo de procesamiento hay dos alternativas: optimizar los procesos o buscar una representación sintética de la información, sin perder la fidelidad de la representación de los escenarios reales.

Adoptando la segunda alternativa hemos pre-procesado la información para introducirla en el escenario en mejores condiciones de regularidad funcional mediante

la aplicación del análisis por componentes principales de la matriz de observaciones de los precios promedio del crudo OPEP en el mercado internacional.

2. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Para procesar la información y realizar el análisis de componentes principales, hemos utilizado un paquete desarrollado en anteriores trabajos (7). El modelo neuronal artificial está instrumentado bajo un algoritmo del tipo Backpropagation.

Análisis de componentes principales (7, 10)

Sea X una matriz $(m \times n)$ de elementos x_{ij} asociada a las m observaciones de las n variables en estudio. Geométricamente esta matriz puede ser representada por una nube N de m puntos l_i en el espacio R_n en el cual el elemento x_{ij} es la coordenada en el eje j de la i -ésima observación l_i .

El análisis por componentes principales nos conduce a encontrar un subespacio R^p tal que p sea menor o igual que n y que minimice la distorsión del contenido de la información. La nube N es proyectada sobre R^p de tal manera que las p componentes principales constituyen una base ortonormal de este subespacio. Conservar las n componentes principales equivale a realizar una rotación del sistema de ejes originales. El procedimiento es el siguiente:

- 1) Representamos R^n mediante una recta F_p obtenida con un

ajuste por mínimos cuadrados a los puntos de N . La recta F_1 así obtenida es el primer eje factorial sobre el cual proyectamos cada uno de los l_i , elementos de N ;

- 2) Si el ajuste de la nube N por F_1 no es satisfactorio, buscamos el siguiente eje F_k , $k > 1$ hasta encontrar un subespacio R^p contenido en R^n que minimice la distorsión.

En síntesis, el análisis por componentes principales permite reducir la dimensionalidad del problema en estudio, mediante la identificación de un conjunto de variables no correlacionadas que describan los escenarios con precisión comparable a la producida con la descripción con variables originales.

Redes Neuronales Artificiales (1, 2, 5, 9)

Las redes neuronales artificiales (RNA) son sistemas de procesamiento paralelo y distribuido, cuyos elementos computacionales básicos o neuronas se encuentran densamente conectados entre sí; su estructura y funcionamiento se inspiraron en los del sistema nervioso biológico del cerebro humano. Esto no significa que la neurocomputación no esté abierta a la incorporación de nuevos elementos que no guarden fidelidad con la estructura biológica comprobable del cerebro, cuando éstos contribuyan favorablemente a la mejora de la productividad de los modelos neuronales.

Las redes neuronales artificiales pueden funcionar en dos mo-

dos: en el modo de aprendizaje, la red neuronal, que está definida por una arquitectura A y un conjunto de coeficientes de ponderación Ω , recibe una señal x y calcula un valor y que puede ser el resultado de una clasificación, un vector del mismo tipo del de la entrada, un valor pronosticado o la cuantificación de alguna variable. La red puede caracterizarse por una función global de transferencia $y=F_A(\omega)(x)$.

En el modo de aprendizaje, la red utiliza ejemplos previamente conocidos para adaptar al problema. La red puede modificar las ponderaciones de las conexiones, la arquitectura o las funciones de transición. Los algoritmos de aprendizaje pueden ser de dos tipos: de aprendizaje supervisado o no supervisado.

Características básicas

La neurona artificial se caracteriza por:

- 1) Su estado interno, si, valor real o entero que pertenece al espacio S de estados posibles;
- 2) Las señales de entrada, s_1, s_2, \dots, s_n generadas en otras neuronas o en el entorno de la neurona en estado S_i .
- 3) La función de transición de estados, $s_j=f(s_1, \dots, s_n)$ que es la que describe la asignación de los diferentes estados por los que transita la neurona. La dependencia de f respecto a las señales de entrada puede ser representada por conexiones, la mayor parte de las cuales se

encuentran indexadas mediante coeficientes de ponderación de conexión, ω_{ij} .

Las características de una red neuronal dependen de :

- 1) Su arquitectura, es decir el número de elementos y la estructura de las conexiones;
- 2) La función de sus elementos, la misma que es automáticamente definida por los algoritmos de aprendizaje.

En el caso del algoritmo de BACKPROPAGATION, que es el utilizado en el paquete computacional BRAINMAKER con el que hemos trabajado, minimiza una función que mide la distancia entre la salida deseada d_j y la salida calculada Y_j .

$$(\omega) = \frac{1}{m} \sum \|y_j - d_j\|^2$$

expresión en la que, m es el número de neuronas de la capa de salida y el vector de los coeficientes de ponderación.

La función es minimizada mediante una técnica de gradiente descendente. Los coeficientes de ponderación son modificados por los valores obtenidos mediante la expresión

$$\Delta\omega_{ij} = k \frac{e}{\omega}$$

donde k es una constante de proporcionalidad y los valores de e miden la precisión de la aproximación.

Existen variantes de esta corrección que utilizan expresiones de la forma

$$\Delta\omega_{ij} = kg(Y_j - \omega_{ij})$$

siendo g la función de activación de la neurona.

Puesto que la corrección de los valores de los coeficientes de ponderación comienza en la última capa de neuronas y se avanza hacia la primera, mediante un mecanismo de retorno, los cálculos son más sencillos. El método tiene dos etapas:

Etapa I: En la que se calculan los niveles de actividad Y_j de cada neurona.

Etapa II: Se evalúan las derivadas, comenzando por la capa de salida.

El algoritmo de Back propagation presenta las siguientes desventajas:

1. El proceso de cálculo es lento;
2. El algoritmo guarda el conocimiento adquirido en el transcurso del proceso, por lo que necesariamente ocupa mayor cantidad de memoria del computador;
3. Cuando el proceso encuentra un valor mínimo local, difícilmente sale de él;

Un aspecto de mucho interés consiste en analizar la compatibilidad biológica del algoritmo ya que no existe evidencia de que las neuronas cerebrales funcionen

transmitiendo información en los dos sentidos.

3. APLICACION AL CASO DEL PRECIO PROMEDIO DEL CRUDO OPEP

En los trabajos anteriores hemos estudiado el problema de previsión del precio promedio del crudo producido por los países miembros de la OPEP en el mercado internacional, habiendo obtenido resultados satisfactorios. En ellos hemos utilizado los valores observados de 13 variables a partir del año 1960, los mismos que los presentamos en la tabla Nº1.

Para aplicar la metodología descrita en los párrafos anteriores hemos seguido los siguientes pasos:

1. Organización de la base de datos estadísticos de 13 variables y 21 años (cf.Tabla 1).
2. Análisis por componentes principales.
3. Construcción y entrenamiento de los modelos neuronales.
4. Cálculo de previsiones con los modelos neuronales.
5. Comparación con los resultados obtenidos con otros modelos.

Existe la posibilidad de pasar directamente de la base de datos al análisis por redes neuronales, obviando el acondicionamiento previo de la información.

La base de datos estadísticos que utilizamos es la misma

que sirvió para operar con los modelos algorítmicos OMS y HOMS y los modelos neuronales NOMS1 y NOMS2 (5, 6). Suponemos, en todos los casos, que los efectos de las políticas gubernamentales, las estrategias para incrementar la productividad incorporando nuevas tecnologías y los precios relativos de los otros tipos de energía se toman en cuenta en las variables de la base de datos utilizada.

Las características intrínsecas de las redes neuronales utilizadas son las que se describen en la Tabla 3:

Constatamos que el primer valor propio explica el 68.97% de la varianza, el segundo el 18.22%, el tercero 8.80% y el cuarto, 2.92%, es decir con los tres primeros valores propios explicamos el 96% de la varianza. Esto significa que la matriz original de datos puede ser representada por la matriz de la tabla 2 con una pérdida de información del 4%, valor que se encuentra en el intervalo de tolerancia del error de nuestro estudio.

Del cálculo de correlaciones entre componentes principales y las variables originales (fig. 2)

TABLA 3 Características de las redes neuronales utilizadas.

RED	NUMERO DE CAPAS			USO
	Entrada	Interme.	Salida	
1	1	2 de 25 neuronas	1	Generación de los valores de las variables que intervienen en los escenarios.
2	4	2 de 25 neuronas	1	Previsión de las variables de escenarios.
3	1	3 de 20-30-50 neuronas	1	Previsión de los precios

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Analicemos los resultados obtenidos de la aplicación de las componentes principales a los datos estadísticos utilizados en nuestro estudio.

En el gráfico de la fig. 1 tenemos en ordenadas el valor de la varianza explicada por cada uno de los valores propios de la matriz de correlación de los datos originales.

constatamos que las dos primeras componentes principales tienen coeficientes de correlación con valores cercanos a la unidad respecto a casi todas las variables originales. Sólo para las variables correspondientes a las importaciones, Balance de la OPEP y Producción de Refinados los coeficientes de correlación son bajos.

En la fig. 3 tenemos la ubicación de los coeficientes de co-

relación de la tercera y cuarta componentes respecto a las variables originales. Vemos que sólo para la variable original BALANCE DE LA OPEP el coeficiente es cercano a la unidad.

Este análisis nos conduce a decidir trabajar con las tres primeras componentes principales, lo que nos ha permitido disminuir el número de variables de 13 (Tab.1) a 3 (Tab. 2). De acuerdo con la metodología empleada en trabajos anteriores (cf. 5,6) luego de haber entrenado las redes neuronales pasamos a la etapa de evaluación de los valores futuros del precio promedio del crudo OPEP en el mercado internacional para lo cual necesitamos generar los valores de las variables de entrada de la red mediante redes en las cuales el valor de entrada es el año y obtenemos como valor de salida el de la variable estudiada. Estos constituyen los valores de entrada de la red neuronal de precios

En la Tab. 4 hemos tabulado el año, el precio real observado del crudo y los valores obtenidos con dos redes neuronales: CP1 en la cual el error tolerado durante el entrenamiento de la red lo hemos fijado en el 5% y CP2 con un error tolerado del 10%.

Constatamos que los pronósticos realizados para los cuatro años de comprobación son particularmente precisos, especialmente para los modelos en los que hemos utilizado el análisis por componentes principales, lo que valida la metodología utilizada para pronósticos de este plazo.

En los gráficos de la fig. 4, tenemos en ordenadas los resultados obtenidos con los modelos neuronales y los precios reales mientras que en abscisas tenemos el tiempo. Durante el período de entrenamiento de las redes obtenemos los mejores resultados con la red de tolerancia de entrenamiento del 5% mientras que para los valores pronosticados, la reducción del error tolerado durante el entrenamiento no da lugar a una mejor aproximación.

Comparando los pronósticos obtenidos con los modelos entrenados directamente con los datos observados (DO1 y DO2), con aquellos obtenidos a partir de los modelos para los cuales hemos preparado la información utilizando el análisis por componentes principales (CP1 y CP2), constatamos que estos últimos son de mejor calidad, confirmndo de esta manera la recomendación de los fabricantes de BRAINMAKER en el sentido de que es mejor utilizar valores normalizados de la información suministrada para el entrenamiento de las redes neuronales.

En la tabla N. 5 hemos sintetizado los tiempos empleados por el computador para procesar los diferentes tipos de redes. Así, para el proceso de preparación de los datos, con una red de una entrada y de una salida tenemos un tiempo promedio de procesamiento de 80 segundos, mientras que para las redes utilizadas para el pronóstico, el tiempo promedio es de 6 segundos. Se confirma, así, el mismo comportamiento encontrado en los trabajos anteriores.

CONCLUSIONES

El acondicionamiento de la información, mediante un tratamiento analítico previo, para utilizar modelos neuronales es una herramienta interesante para el conocimiento y aprehensión de los escenarios así como para optimizar los requerimientos de recursos computacionales. En efecto, al analizar la información con las componentes principales hemos comprendido de manera más clara las relaciones existentes entre las variables originales del modelo. Desde el punto de vista computacional hemos logrado discernir algunas limitaciones de las redes neuronales, sobretodo aquella relacionada con los órdenes de magnitud de los intervalos de variación de las variables empleadas como valores de entrada. El error tolerable de trabajo es un porcentaje de este intervalo, de dónde se genera el interés para trabajar con valores centrados y reducidos.

Los modelos neuronales entrenados con información pre-procesada mediante el análisis por componentes principales presenta las siguientes ventajas:

- 1) La dimensionalidad del problema se reduce. En nuestro caso hemos conseguido representar el 96% de la varianza de la matriz de 13 variables conservando solamente las tres primeras componentes principales.
- 2) El tiempo de procesamiento se ha reducido notablemente. En el caso de la aproximación con el 5% de error tolerable, el tiempo utilizado con informa-

ción preacondicionada es 5.64 veces menor que con la información original y en el caso del error del 10%, la reducción es de 635 veces.

- 3) Los órdenes de magnitud de los errores calculados en el período para el cual disponemos de datos reales observados se mantienen en valores menores al 20% en el caso de la red con error tolerable de aprendizaje del 5%, y con un valor máximo del 11.28% en el caso del error tolerable del 10%.
- 4) El intervalo de variación de los errores al final del período de previsión es mayor cuando varía el error tolerable (del 5% al 10% para CP1 y CP2 respectivamente) que cuando cambia la estrategia de procesamiento (de un solo valor de entrada en NOMS1 al procesamiento en cascada en NOMS2).

Agradecimiento: Este trabajo fue realizado en el marco del PROGRAMA DE REDES NEURONALES de la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR. Los autores agradecen a Rafael Melgarejo Heredia por las valiosas sugerencias respecto a los modelos neuronales.

REFERENCIAS

- 1) California Scientific Software, *Introduction to Neural Networks Computer Simulation of Biological Intelligence*. Sierra Madre, California 1990.
- 2) Do Amaral Pereira, Paulo César *Inteligencia Artificial y Redes Neuronales* ESPE Quito, 1992
- 3) Hogan, William *Oil Demand and OPEC's Recovery Energy and environmental Policy Center* Harvard Energy Security Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, June 1980
- 4) Hogan, William, *Oil Market risk Analysis* Energy and environmental Policy Center Harvard Energy Security Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Dec. 1985
- 5) Melgarejo, R; Calderón A., *Estudio de modelos de mercado petrolero a través de redes neuronales artificiales*, Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1992
- 6) Sáenz, M; Izurieta, C; Melgarejo, Calderón, A; *Estudio de los precios del crudo en el mercado OPEC utilizando redes neuronales* PC-World Ecuador, marzo 1993
- 7) Sáenz, M. *Análisis por componentes principales* Unidad de Sistemas de Petroecuador, I.T. N. 13. May 1991
- 8) Smith-Perera, R. *Optimal energy pricing in oil exporting countries: second best alternatives* Energy and Environmental Policy Center, Harvard Energy Security Program. John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Sept. 1987
- 9) Engelman-Souille, F *Neural networks and their applications for the oil industry* Revue de l'Institut Français du Pétrole, Vol 47, N. 3 mayo-junio 1992
- 10) Pla, L.E. *Análisis multivariado: método de componentes principales* Serie de Publicaciones Científicas de la Organización de los Estados Americanos, OEA, Washington 1986

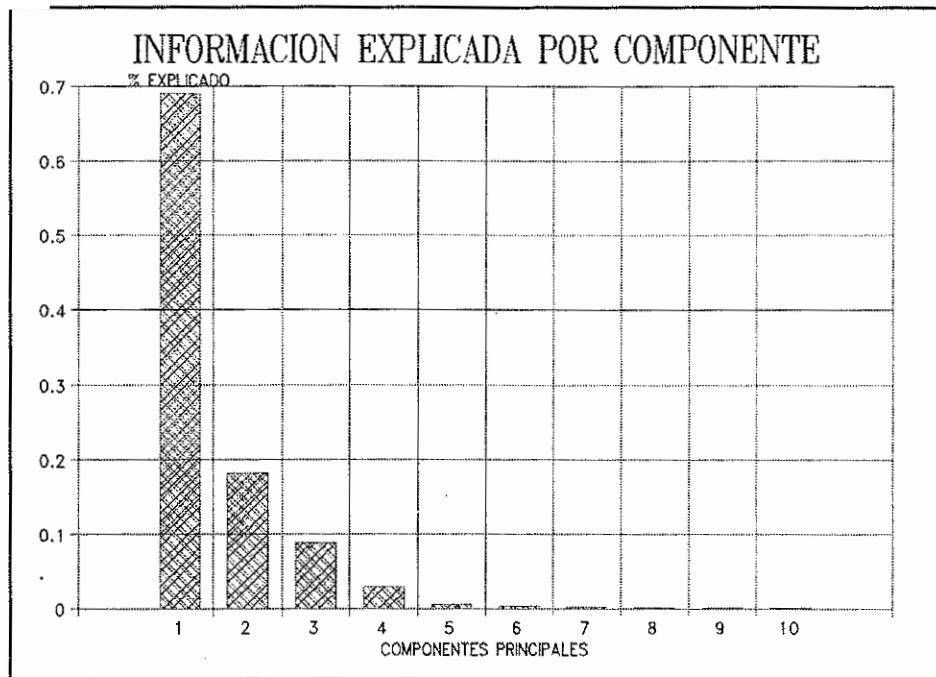


FIG. 1 Varianza explicada por cada una de las componentes principales calculadas en el pre-acondicionamiento de la información.

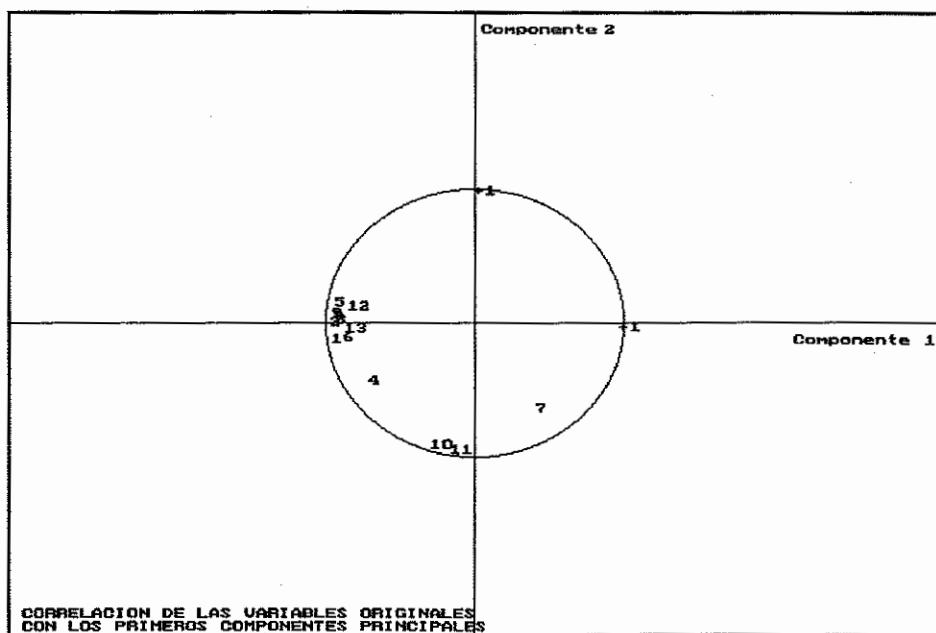


FIG 2 Correlación de las variables originales. Proyección en el plano de las dos primeras componentes principales.

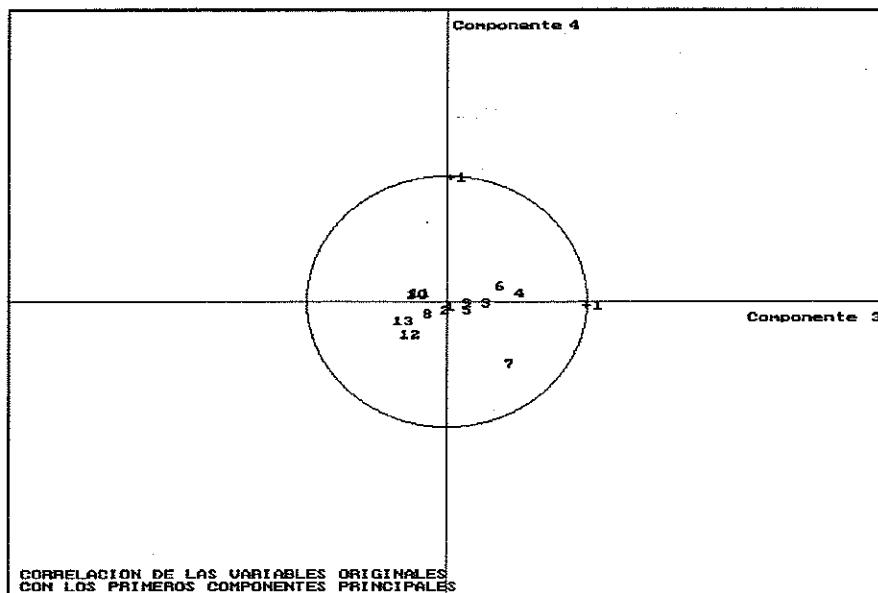


FIG. 3 Correlación de las variables originales. Proyección en el plano de las componentes principales 3 y 4

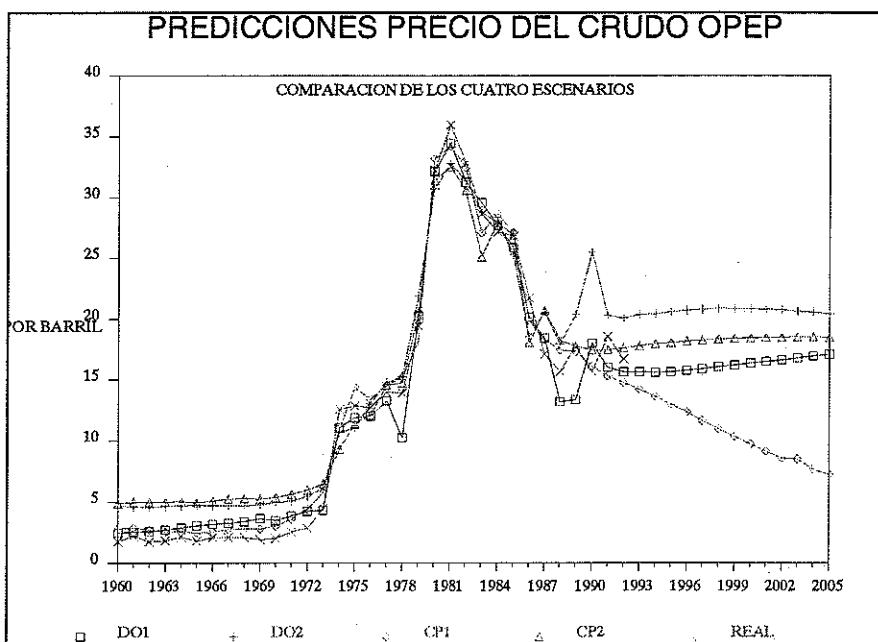


FIG. 4.- Resultados obtenidos con las redes neuronales:

- DO1 red entrenada con valores reales observados y tolerancia del 5%
- DO2 red entrenada con valores reales observados y tolerancia del 10%
- CP1 red entrenada con información preprocesada con componentes principales y tolerancia del 5%
- CP2 red entrenada con información preprocesada con componentes principales y tolerancia del 10%

TABLA 4.- Valores obtenidos con los modelos de redes neuronales

AÑO	VALOR OBSERVADO	PORCENTAJES DE ERROR ASIGNADOS PARA ENTRENAMIENTO							
		5% DO		10% DO		5% CP		10% CP	
		VALOR	ERROR %	VALOR	ERROR %	VALOR	ERROR %	VALOR	ERROR %
1989	17.75	13.4	15.94	20.38	14.82	17.32	2.42	17.75	0.00
1990	15.69	18.01	24.51	25.45	62.21	16.11	2.68	17.46	11.28
1991	18.57	16.02	14.79	20.28	9.21	15.32	17.50	17.48	5.87
1992	16.71	15.67	13.73	20.09	20.23	14.79	11.49	17.63	5.51

TABLA 5.- Tiempo de procesamiento empleado en el entrenamiento.

**Tipo de red neuronal
(# entradas/# salidas)**

Tipo de entrenamiento	Tipo de red neuronal (# entradas/# salidas)	
	1/1	13/1
Máximo	150'	6'
Mínimo	5'	
Promedio	80'	
Total	17 x 80'	6'

Pre-processing Information to Build Neural Models: Case Study of the Average Price of OPEC Crude Oil

Melio Sáenz and Carlos Galarza*
Diego Erazo and Mario Játiva**

INTRODUCTION

The major problem in using models based on artificial neural networks is the large amount of processing time needed to prepare the values of the variables involved in the forecasting scenarios. In order to mitigate this difficulty, we have decided to look for new ways of representing the information. To do this, in this first attempt, we have tried a preliminary treatment of the information by using the analysis by principal components. The results that have been achieved remain at the same precision intervals as those obtained with the neural model without pre-processing, while the time used in processing the information is considerably lower

In order to prepare forecasts for oil sector prices, companies and governments interested in these forecasts require sophisticated human and technological resources. Efforts undertaken in the seventies have fostered the widespread development of algorithmic models. Unfortunately, the complexity of oil scenarios has not permitted reasonable levels of accuracy in forecasting oil prices using this type of model.

The current availability of sophisticated computer tools, however, enables us to tackle the problem non-algorithmically.

In previous work (5, 6), we were able to observe that the results obtained with models based on artificial neural network were better than those obtained from traditional algorithmic models.

The present effort is aimed at reducing data-processing time with the least loss of accuracy in the forecasting. To do this, before applying the neural network models, we pre-process the information using a technique based on the analysis of principal components.

1. FORMULATION OF THE PROBLEM

In the previous study (5, 6) on forecasting the average price of OPEC crude oil on the international market by means of neural models, we verified that these models yielded results that were more reliable than the ones obtained with the algorithmic models: Oil Market Simulation System (OMS) and Harvard Oil Market Simulation System (HOMS) (3, 4, 7).

In the above-mentioned study, we used the information published in the statistical documents of the oil sector and in keeping with the referential algorithmic models OMS and HOMS. The data refer to 13 variables observed over 31 years, from 1960 to 1990.

In order to create the forecasting scenarios by evaluating the values of the variables that permit forecasting on the basis of time, from 1991 to the present, we had studied two cases:

* Research and Development Unit, PETROECUADOR, Quito, Ecuador

** Latin American Center of Scientific Calculation and Industrial Informatics, Quito, Ecuador

CASE 1: In which, using time as an independent variable, we predicted the system's behavior by evaluating all the other variables.

CASE 2: In which the values of the variables were obtained by means of specific neural networks trained for each variable on the basis of time.

In the two cases, the results that were obtained using neural networks were more accurate than the ones calculated using algorithmic models; the latter method, in addition, involved the problem of an excessive amount of time spent for calculation (5).

To reduce processing time, there are two alternatives: to optimize the processes or seek a synthetic representation of the information, without losing the authenticity of the representation of real scenarios.

We adopted the second alternative and pre-processed the information to introduce it into the scenario under better conditions of functional regularity by applying the analysis by principal components of the matrix of observations of the average prices of OPEC crude oil on the international market.

2. COMPUTER TOOLS

In order to process the information and conduct the analysis of principal components, we used a package developed in previous work (7). The artificial neural model is implemented using a backpropagation algorithm.

Analysis of Principal Components (7, 10)

Let X be a matrix ($m \times n$) of elements x_{ij} associated to m observations of n variables under study. Geometrically, this matrix can be represented by an N cloud of m points I_i in space R_n , in which the x_{ij} element is the coordinate in the j -axis of the i th observation I_i .

The analysis by principal components leads us to find a subspace R^p , such that p is less than or equal to n and minimizes the distortion of the contents of the information. The N cloud is projected onto R^p so that the major p components constitute an orthonormal base of this subspace. Keeping the principal n components is equivalent to rotating the original axis system. The procedure is as follows:

1. We represent R^n by means of a straight line F_p obtained with an adjustment for mean squared to the points of N . The straight line F_1 thus obtained is the first factorial axis on which we project each one of the I_i , elements of N .
2. If the adjustment of N cloud for F_1 is unsatisfactory, we seek the following F_k , $k > 1$ until we find a subspace R^p contained in R^n that minimizes the distortion.

In short, the analysis by principal components enables us to reduce the dimensionality of the problem being studied, by identifying a set of non-correlated variables that describe the scenarios with a precision that is comparable

to the one produced with the description of the original variables.

Artificial Neural Networks (1, 2, 5, 9)

Artificial neural networks (ANN) are parallel and distributed processing systems, whose basic computer elements or neurons are densely interconnected; their structure and operation are based on those of the human brain's nervous system. This does not mean that neurocomputer technology is not open to the incorporation of new elements that do not correspond to the human brain's verifiable biological structure if and when these elements contribute to improving the productivity of neural models.

Artificial neural networks can function in two modes: in the consulting mode, the neural network, which is defined by an A architecture and a set of W weighting coefficients, receives an x signal and calculates a y value that can be the outcome of a classification, a vector of the same type as that of the input, a forecast value, or the quantification of some variable. The network can be characterized by a global transfer function $y = F_A W(X)$.

In the consulting mode, the network uses previously known examples to adapt to the problem. The network can modify the weightings of the connections, the architecture or the transition functions. The consulting algorithms can be of two kinds: supervised or nonsupervised consulting.

Basic characteristics

The artificial neuron is characterized by:

1. Its internal state, s_i , real or integer value that belongs to space S of possible states.
2. The input signals, s_1, s_2, \dots, s_n generated in other neurons or in the environment of the neuron in state S_i .
3. The transition function of states $s_i = f(s_1, \dots, s_n)$ which describes the assignation of the different states that the neuron passes through. The dependence of f with respect to the input signals can be represented by connections, most of which are indexed by means of connection weighting coefficients, W_{ij} .

The characteristics of the neural network depend on:

1. Its architecture, that is, the number of elements and the structure of the connections.
2. The function of its elements, which is automatically defined by the consulting algorithms.

In the case of the backpropagation algorithm, which is used in the brainmaker computer package with which we have worked, it minimizes a function that measures the distance between the desired output d_j and the calculated output Y_j :

$$(\omega) = \frac{1}{m} \sum \|y_j - d_j\|^2$$

an equation in which m is the number of neurons of the output layer and W the vector of the weighting coefficients.

The function is minimized by means of a downward slope technique. The weighting coefficients are modified by the values obtained by means of the following equation:

$$\Delta \omega_{ij} = k \frac{e}{\omega}$$

where k is a constant of proportionality and the values of e measure the accuracy of the approximation.

There are variants of this correction that use equations in the following form:

$$\Delta \omega_{ij} = kg(Y_j - \omega_{ij})$$

g being the function of the activation of the neuron.

Since correction of the values of the weighting coefficients begins in the last layer of neurons and moves backwards toward the first, by means of a return mechanism, the calculations are simpler. The method involves two phases:

Phase I: In which the activity levels Y_j of each neuron are calculated.

Phase II: The derivatives are evaluated beginning with the output layer.

The backpropagation algorithm has the following drawbacks:

1. The calculation process is slow.
2. The algorithm keeps the knowledge acquired during the process and because of that it uses up a larger amount of computer memory.
3. When the process finds a minimum local value, it has trouble leaving it.

One highly interesting aspect consists of analyzing the biological compatibility of the algorithm since there is no evidence that the cerebral neurons operate transmitting information in both directions.

3. APPLICATION TO THE CASE OF THE AVERAGE PRICE OF OPEC CRUDE OIL

In the previous work, we studied the problem of forecasting the average price of crude oil produced by the member countries of OPEC on the international market and obtained satisfactory results. We used the observed values of 13 variables as of the year 1960, as indicated in Table 1.

In order to apply the methodology described in the preceding paragraphs, we took the following steps:

1. Organization of the statistical data base of 13 variables and 21 years (see Table 1).
2. Analysis by principal components.
3. Construction and training of the neural models.

4. Calculation of the forecasts with the neural models.
5. Comparison with the results obtained with other models.

There is the possibility of going directly from the data base to the analysis by means of neural networks, obviating the prior processing of the information.

The statistical data base that we used is the same as the one used to operate with the OMS and HOMS algorithmic models and the NOMS1 and NOMS2 neural models (5, 6). Let us assume, in any case, that the effects of government policies, the strategies to increase productivity by incorporating new technologies, and the relative prices of other types of energy are taken into account in the variables of the data base used.

The intrinsic characteristics of the neural networks used are described in the following table 3.

4. ANALYSIS OF THE RESULTS

Let us analyze the results obtained from the application of the principal components to the statistical data used in our study.

In the chart of Figure 1, we have the value of the variance explained for each one of the values of the correlation matrix of the original data on the ordinates. We observe that the first value explains 68.97% of the variance, the second 18.22%, the third 8.80%, and the fourth 2.92%; in other words, with the first three values we can explain 96% of the variance. This means that the original data matrix can be represented by the matrix of Table 2 with a 4% loss of information, a value that can be found in the error tolerance interval of our study.

On the basis of the calculations of the correlations between principal components and original variables (see Figure 2), we

observe that the first two principal components have correlation coefficients with values close to one with respect to almost all the original variables. Only for the variables corresponding to imports, OPEC balance, and production of oil products are the correlation coefficients low.

Figure 3 shows the location of the correlation coefficients of the third and fourth components regarding the original variables. We observe that only for the original variable OPEC balance is the coefficient close to one.

This analysis leads us to decide to work with the first three principal components, which has enabled us to reduce the number of variables from 13 (Table 1) to 3 (Table 2). According to the methodology used in previous work (5, 6), after having trained the neural networks, we shift to the evaluation phase of future values of the average price of OPEC crude oil on the international market. For this we need to generate the values of the network input variables in which the input value is the year and we obtain as an output value that of the variable studied. These are the input values of the neural price network.

Table 4 tabulates the year, real price observed of crude oil, and values obtained with two neural networks: CP1 in which the tolerated error during the training of the network has been set at 5% and CP2 with a tolerated error of 10%.

Table 3. Characteristic of the neural networks used.

NET-WORK	NUMBER OF LAYERS			USE
	Input	Intermediate	Output	
1	1	2-25 neurons	1	Forecasting the variables of the scenarios
2	4	2-25 neurons	1	Price forecasting
3	1	3-20-30-50 neurons	1	Price forecasting

We observe that the forecasts conducted for the four years of testing are especially accurate, above all for the models we have used in analyzing the principal components, which validates the methodology used for forecasting this time period.

In the charts of Figure 4, the results obtained with the neural models and the real prices are in the ordinates, while time is on the abscissas. During the training period of the networks, we have better results with the training tolerance network of 5%, whereas for the forecast values, reduction of the tolerated error during the training does not lead to a closer approximation.

Comparing the forecasts obtained with the models trained with the observed data (DO1 and DO2) with those obtained on the basis of the models for which we pre-processed the information using the analysis by principal components (CP1 and CP2), we observe that the latter are higher quality, thus confirming the recommendation of the manufacturers of BRAINMAKER to the effect that it is better to use standardized values of the information supplied for training of the neural networks.

In Table 5 we have synthesized the time used by the computer to process the different types of networks. Thus, for the data-preparing process with a network of one input and one output we have an average processing time of 80 seconds, whereas for the networks used for the forecasting, the average time is 6 seconds. Thus,

the same behavior found in the previous work is confirmed.

CONCLUSIONS

Information pre-processing, applying a prior analytical treatment, to use neural models is an interesting tool for learning about and apprehending the scenarios as well as optimizing computer resource requirements. Indeed, upon analyzing the information with the principal components, we have understood more clearly the existing relations between the model's original variables. From the standpoint of computer technology, we have managed to discern some of the limitations of neural networks, especially with respect to the orders of magnitude of the variation intervals of the variables used as input values. The tolerable error of the work is a percentage of this interval, from which comes the interest to work with centered and reduced values.

The neural models trained with pre-processed information by means of the analysis by principal components provide the following advantages:

1. The dimensionality of the problem is reduced. In our case, we have managed to represent 96% of the variance of the matrix of 13 variables, keeping only the first three principal components.
2. The processing time has dropped considerably. In the case of the approximation with the 5% of tolerable error, the time spent with pre-

processed information is 5.64 times less than with the original information and, in the case of the 10% error, the reduction is 635 times.

3. The orders of magnitude of the errors calculated in the period for which we have real observed data are kept at values under 20% in the case of the network with the tolerable learning error of 5% and with a maximum value of 11.28% in the case of the tolerable error of 10%.
4. The variation interval of the errors at the end of the forecasting period is greater when the tolerable error varies (from 5% to 10% for CP1 and CP2, respectively) than when the processing strategy changes (from one single input value in NOMS1 to cascade processing in NOMS2).

Acknowledgments: The present work was conducted within the framework of the Neural Network Program of the Research and Development Unit of PETROECUADOR. The authors wish to thank Rafel Melgarejo-Heredia for his valuable suggestions regarding neural models.

REFERENCES

1. California Scientific Software, *Introduction to Neural Networks Computer Simulation of Biological Intelligence*, Sierra Madre, California, 1990.
2. Do Amaral Pereira, Paulo César, *Inteligencia Artificial y*

-
- Redes Neuronales*, ESPE, Quito, 1992.
3. Hogan, William, *Oil Demand and OPEC's Recovery*, Energy and Environmental Policy Center, Harvard Energy Security Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, June 1980.
4. Hogan, William, *Oil Market Risk Analysis*, Energy and Environmental Policy Center, Harvard Energy Security Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, December 1985.
5. Melgarejo, R., Calderón, A., *Estudio de Modelos de Mercado Petrolero a través de Redes Neuronales*, thesis submitted to the School of Systems Engineering of the National Polytechnic School, Quito, 1982.
6. Sáenz, M., Izurieta, C., Melgarejo, R., Calderón A., *Estudio de los Precios del Crudo en el Mercado OPEP Utilizando Redes Neuronales*, PC-World Ecuador, March 1993.
7. Sáenz, M., *Análisis por Componentes Principales*, Systems Unit, PETROECUADOR, ITN, No. 13, May 1991.
8. Smith-Perera, R., *Optimal Energy Pricing in Oil Exporting Countries: Second Best Alternatives*, Energy and Environmental Policy Center, Harvard Energy Security Program, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, September 1987.
9. Engelman-Souille, F., *Neural Networks and their Applications for the Oil Industry*, Revue de l'Institut français du pétrole, Vol. 47, No. 3, May-June 1992.
10. Pla, L.E., *Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales*, Scientific Publications Series of the Organization of American States, Washington, D.C., 1986.

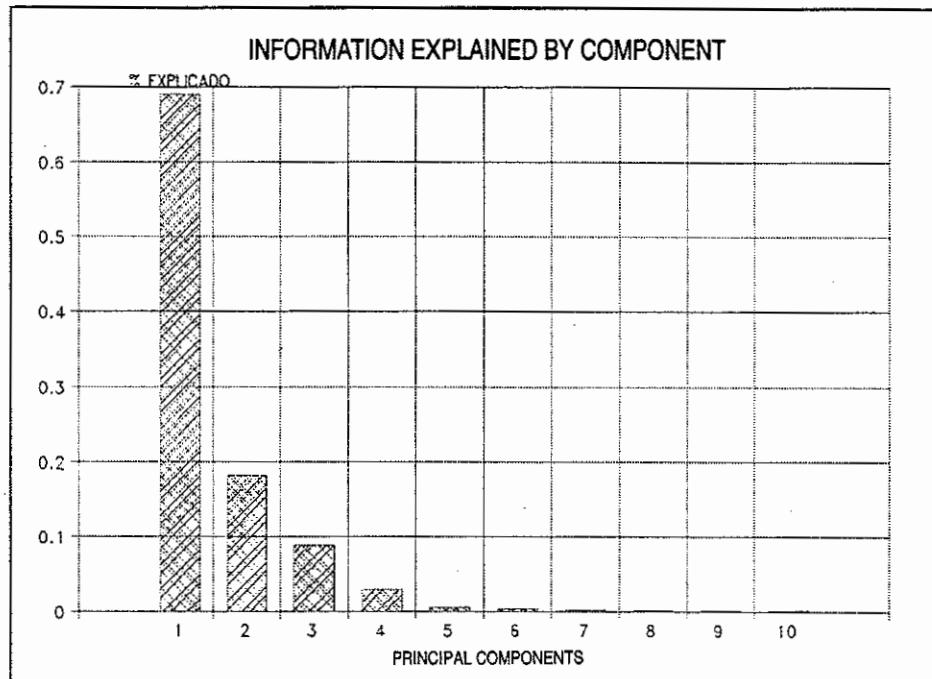


Figure 1: Variance explained for each one of the principal components calculated in the preliminary processing of the information

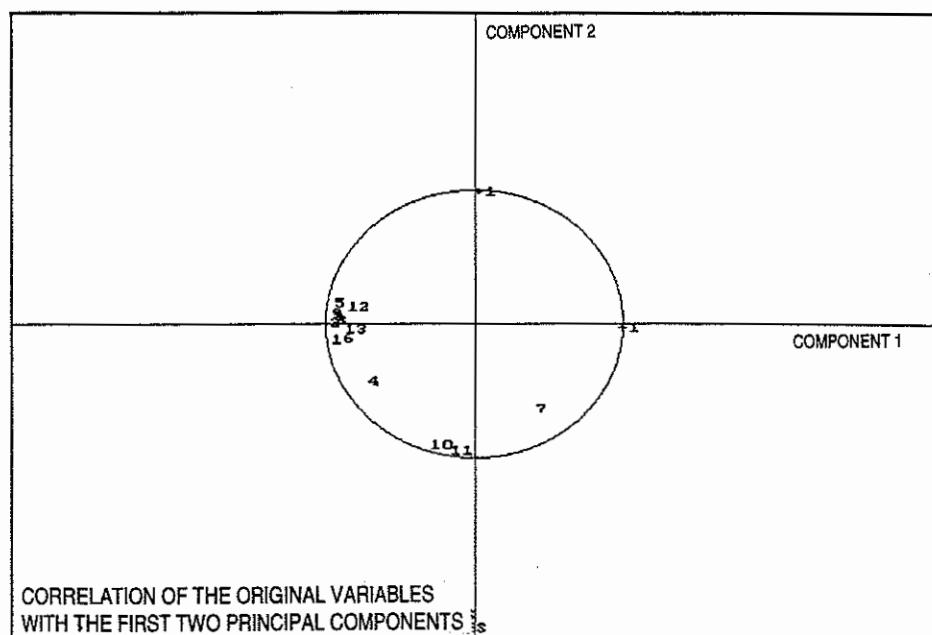


Figure 2: Correlation of the original variables: Flat projection of the first two principal components

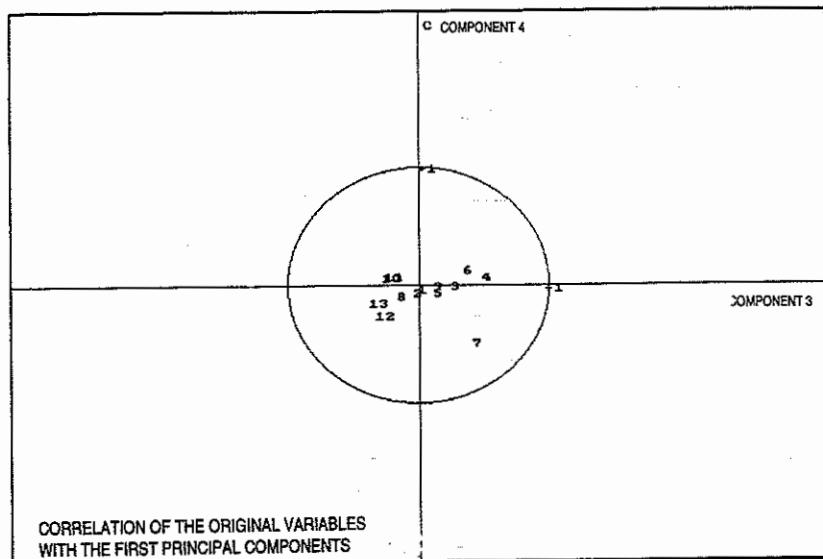


Figure 3: Correlation of the original variables: Flat projection of the principal components 3 and 4

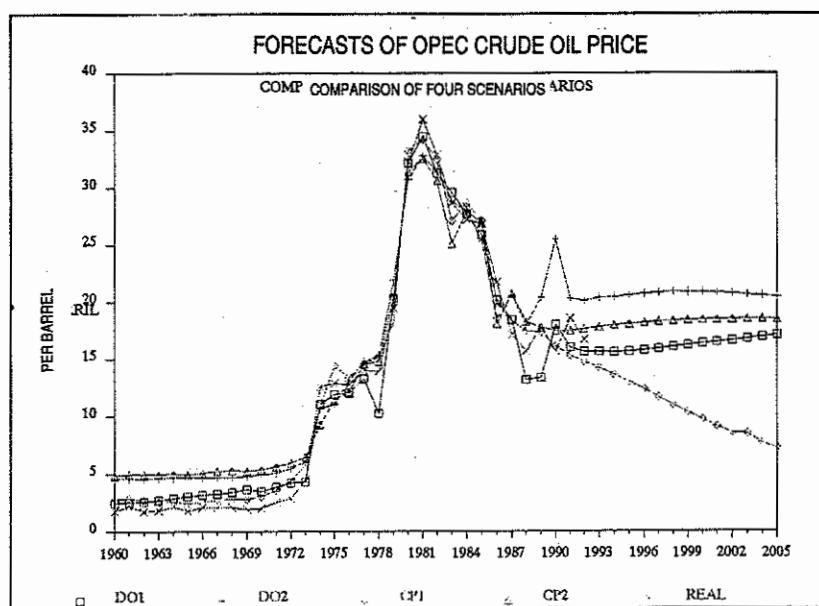


Figure 4: Results obtained with neural networks

- DO1 Trained network with observed real values and a tolerance of 5%
- DO2 Trained network with observed real values and a tolerance of 10%
- CP1 Trained network with preprocessed information with principal components and a tolerance of 5%
- CP2 Trained network with preprocessed information with principal components and a tolerance of 10%

TABLE 4.- Values obtained with the neural network models

Year	Observed Value	Error percentages assigned for training							
		5% DO		10% DO		5% CP		10% CP	
		Value	Error %	Value	Error %	Value	Error %	Value	Error %
1989	17.75	13.4	15.94	20.38	14.82	17.32	2.42	17.75	0.00
1990	15.69	18.01	24.51	25.45	62.21	16.11	2.68	17.46	11.28
1991	18.57	16.02	14.79	20.28	9.21	15.32	17.50	17.48	5.87
1992	16.71	15.67	13.73	20.09	20.23	14.79	11.49	17.63	5.51

Table 5: Processing time used in the training

Type of training
 Type of neural network
 (# inputs/# outputs)

	1/1	13/1
Maximum	150'	6'
Minimum	5'	
Average	80'	
Total	17X80'	6'

Amigo Lector, éstas son algunas de las publicaciones que OLADE pone a su disposición

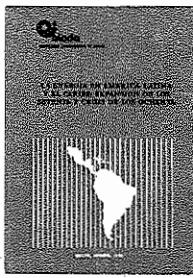
SITUACION ENERGETICA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: TRANSICION HACIA EL SIGLO XXI



US\$ 25,00

La tesis central de esta publicación, cuyo contenido fue discutido en la XXII Reunión de Ministros de OLADE en octubre de 1991, está orientada a definir los lineamientos fundamentales en tres áreas importantes: incrementar la seguridad de abastecimiento energético en la Región; manejar adecuada y balanceadamente la problemática ambiental vinculada a la energía; y, la redefinición del papel del Estado como ente regulador y promotor del desarrollo sectorial.

LA ENERGIA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: EXPANSIÓN DE LOS SETENTA Y CRISIS DE LOS OCHENTA



US\$ 12,00

Hace una síntesis de la evolución del sector energético, analizando los principales determinantes de la evolución económica regional y sus interrelaciones con la energía en un contexto internacional cambiante. También se analizan los cambios operados en el balance energético regional, desde la producción hasta el consumo final, así como sus factores explicativos. Finalmente se presentan las principales cuestiones energéticas que la Región deberá abordar en la década de los noventa: crisis financiera y deuda; inestabilidad del mercado petrolero; impacto ambiental; uso racional de la energía; y desarrollo de la cooperación regional.

UN DESAFIO DE POLÍTICA PARA LOS AÑOS NOVENTA: CÓMO SUPERAR LA CRISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO EN LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

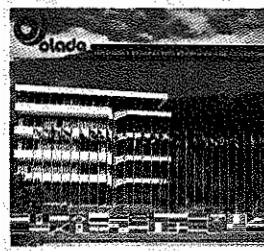
Conjunto de ponencias que se presentaron en la CONFERENCIA UN DESAFIO DE POLÍTICA PARA LOS AÑOS NOVENTA: Cómo Superar la Crisis del Sector Eléctrico en los Países de América Latina y El Caribe, realizada en Hacienda Cocoyoc, México, del 4 al 6 de septiembre de 1991.



US\$ 25,00

OLADE: HISTORIA Y PERSPECTIVA ENERGÉTICA DE UNA REGIÓN

Publicación descriptiva de procesos histórico y evolutivo de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), como el organismo natural de la integración energética de América Latina y El Caribe, a través del cual sus 26 Estados Miembros han aglutinado esfuerzos y experiencias en procura de este propósito regional. Se consignan las distintas etapas recorridas desde la creación de este Organismo, 1973, y sus principales hitos y realizaciones. El capítulo final presenta los alcances de la "Las Bases para una Estrategia Energética de América Latina y El Caribe para la Década de los 90".



US\$ 24,00

Si desea adquirir estas publicaciones, sírvase enviar el siguiente formulario al Departamento de Informática y Comunicación de OLADE

NOMBRE Y APELLIDO: _____

DIRECCION: _____

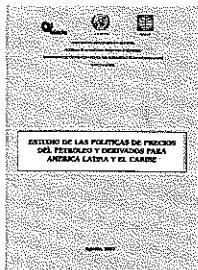
CASILLA POSTAL: _____

PAÍS: _____

FECHA: _____

FIRMA: _____

**ESTUDIO DE LAS POLÍTICAS DE
PRECIOS DEL PETROLEO Y
DERIVADOS PARA AMÉRICA LATINA Y
EL CARIBE**



US\$ 13,00

Analiza la fijación de precios de la energía, los efectos macroeconómicos de las elevaciones de los precios de los hidrocarburos así como el impacto directo de las políticas de precios del petróleo y sus derivados sobre las finanzas de las empresas petroleras y se explican, por esta vía, las crisis económicas y desequilibrios financieros de algunas de ellas. Se concluye que las distorsiones existentes pueden ser controladas mediante la eliminación de subsidios y el establecimiento de precios que reflejen los costos de oportunidad.

**DIRECTORIO DE INSTITUCIONES
ENERGÉTICAS DE AMÉRICA LATINA Y
EL CARIBE**

Contiene información consolidada sobre instituciones del sector energético de América Latina. El documento se desarrolla en cinco partes: Ministros de Energía, Coordinadores, Asesores del SIEE, Instituciones Energéticas y Organismos Internacionales.

Directorio de Instituciones
Energéticas de América Latina
y El Caribe
1992
Directorio of Energy
Institutions of Latin America
and the Caribbean



US\$ 10,00

Si requiere mayor información de nuestros documentos,
solicite El Catálogo de Publicaciones

*Si desea información general de la
Secretaría Permanente de OLADE,
reclame gratis el folleto: OLADE
Información General y Directrices*



Favor enviarle:

Cantidad

Título

Adjunto cheque No. _____ Valor US\$ _____

Banco _____

Av. Occidental, Sector
San Carlos s/n
Casilla: 17-11-6413
Fax: 539-684
Telf.: 539-785 / 539-676
Télex: 2-2728
Quito-Ecuador

Dear Reader, the following publications are available from OLADE

ENERGY SITUATION OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: TRANSITION TOWARD THE 21ST CENTURY



US\$ 25,00

POLICY CHALLENGE FOR THE NINETIES: OVERCOMING THE ELECTRIC POWER SECTOR CRISIS IN THE COUNTRIES OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

This book is comprised of all the papers that were presented at the Conference entitled Policy Challenge for the Nineties: Overcoming the Electric Power Sector in the Countries of Latin America and the Caribbean, held in Hacienda Cocoyoc, Mexico, on September 4-6, 1991.



US\$ 25,00

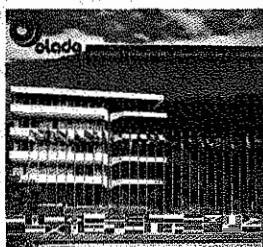
ENERGY IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: EXPANSION OF THE SEVENTIES AND CRISIS OF THE EIGHTIES



US\$ 12,00

This publication summarizes the energy sector's evolution and reviews the main determinants of the Region's economic development and its relationship to energy within a changing international context. The changes that have taken place in the Region's energy balance, from production to final consumption, as well as explanatory factors, are also analyzed. Finally, the main energy problems that the Region will have to address in the nineties are presented: financial and debt crisis; instability of the oil market; environmental impact; rational use of energy; and development of regional cooperation.

OLADE: THE ENERGY HISTORY AND PROSPECTS OF A REGION

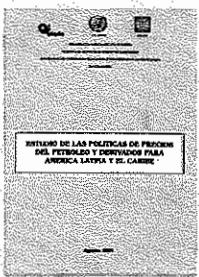


US\$ 24,00

A publication describing the historical and evolutionary processes of the Latin American Energy Organization (OLADE) as the foremost energy integration agency of Latin America and the Caribbean, whose 26 member countries have combined their efforts and experiences to achieve this regional proposal. The various stages of the Organization since its creation in 1973, as well as principal landmarks and achievements, are also indicated. The final chapter presents the "Bases for a Latin American and Caribbean Energy Strategy for the Nineties."

If you wish to purchase
these publications, please
fill out and send the
following order form to the
Department of Informatics
and Communication of
OLADE.

NAME:	_____
ADDRESS:	_____
P. O. BOX:	_____
COUNTRY:	_____
DATE:	_____
SIGNATURE:	_____



US\$ 13,00

**STUDY OF PRICING POLICIES OF
OIL AND PRODUCTS FOR LATIN
AMERICA AND THE CARIBBEAN**

It analyzes energy pricing, the macroeconomic effects of petroleum price increases, and the direct impact exerted by pricing policies for oil and products on the finance of oil companies, and explains the economic crises and financial imbalances of some of the companies because of these policies. The conclusion is reached that current distortions can be controlled by eliminating subsidies and establishing prices that reflect opportunity costs.

**DIRECTORY OF ENERGY
INSTITUTIONS OF LATIN AMERICA
AND THE CARIBBEAN**

It contains consolidated information on the energy sector institutions of Latin America. The Directory is comprised of five parts; Ministers of Energy, OLADE Coordinators, SIEE Advisors, Energy Institutions, and International Agencies.

Directorio de Instituciones
Energéticas de América Latina
y El Caribe
1992
Ministry of Energy
Institutions of Latin America
and the Caribbean



US\$ 10,00

If you require further information on our documents,
please request OLADE's Publications Catalogue.

If you wish general information on
the Permanent Secretariat of
OLADE, ask for a free copy
OLADE: General Information and
Guidelines, 1991-1993



Please send me:

Quantity

Title

Enclosed check No. _____ Amount US\$ _____

Bank _____

Occidental Av.,
Sector San Carlos,
OLADE Bldg.,
P.O. Box 17-11-6413
Fax: 593-2-539684
Telephones: 539785/ 539676
Telex: 2-2728 OLADE ED
Quito, Ecuador

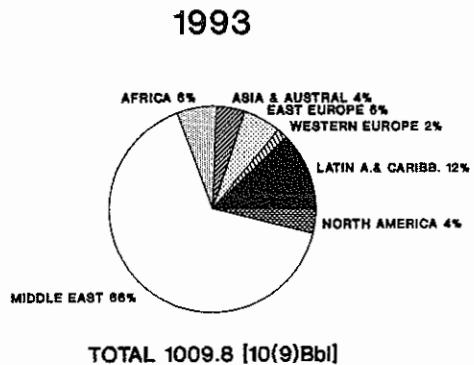
**SECCION ESTADISTICA
DE AMERICA LATINA
Y EL CARIBE**

**STATISTICAL SECTION
OF LATIN AMERICA
AND THE CARIBBEAN**

PETROLEO / OIL

RESERVAS PROBADAS MUNDIALES / WORLD PROVEN RESERVES [10(9)Bbl]

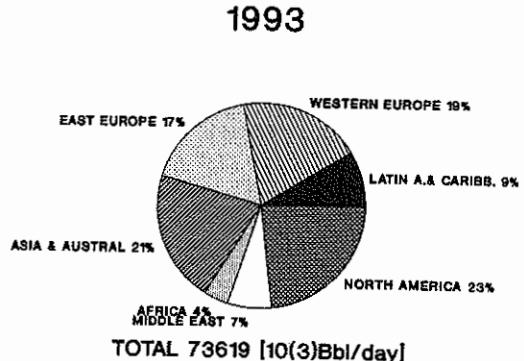
REGIONS	1970	1980	1990	1991	1992	1993	GROWTH RATE
LATIN A. & CARIBBEAN	24.4	74.2	120.3	122.8	125.1	125.7	0.5 %
USA	29.6	27.1	33.9	33.8	32.2	31.2	-3.1 %
CANADA	8.8	6.8	8.1	7.9	7.5	7.4	-1.3 %
WESTERN EUROPE	2.2	23.3	14.4	14.5	15.8	16.7	5.7 %
EAST EUROPE (Incl. CIS)	60.2	70.3	58.9	58.8	59.2	59.2	0.0 %
MIDDLE EAST	332.9	361.8	662.6	661.6	661.8	662.9	0.2 %
AFRICA	54.7	57.1	59.9	60.4	61.9	61.9	0.0 %
ASIA & AUSTRAL.	33.1	39.4	50.4	44.1	44.6	44.8	0.4 %
WORLD	545.9	660.0	1008.5	1003.9	1008.1	1009.8	0.2 %



Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Energy Statistics Sourcebook 1992, Oil & Gas Journal, Years 1989-1993 BP Statistical Review of World Energy 1993

CAPACIDAD MUNDIAL DE REFINACION / WORLD REFINING CAPACITY [10(3) Bbl/day]

REGIONS	1970	1980	1990	1991	1992	1993	GROWTH RATE
LATIN A. & CARIBBEAN	4189	6163	6639	6468	6373	6524	2.4 %
USA	12860	18250	15675	15695	15120	15110	-0.1 %
CANADA	1335	2150	1880	1905	1950	1860	-4.6 %
WESTERN EUROPE	14410	20535	13970	14175	14000	14175	1.3 %
EAST EUROPE (Incl. CIS)	7670	12930	15275	15255	12855	12865	0.1 %
MIDDLE EAST	2270	3565	5025	4350	4915	5005	1.8 %
AFRICA	725	2060	2860	2860	2925	2825	-3.4 %
ASIA & AUSTRAL.	6365	12720	13220	13820	14520	15255	5.1 %
WORLD	49824	78373	74544	74528	72658	73619	1.3 %

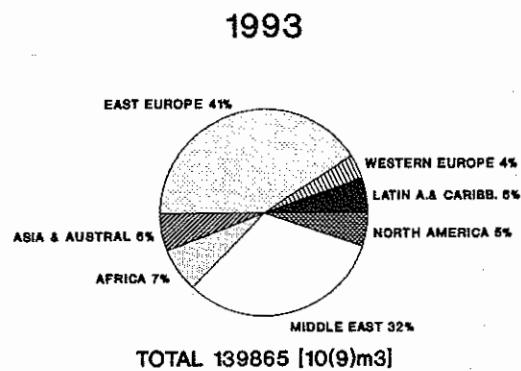


Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
BP Statistical Review of World Energy 1980-1993

GAS NATURAL / NATURAL GAS

RESERVAS PROBADAS MUNDIALES / WORLD PROVEN RESERVES [10(9)m³]

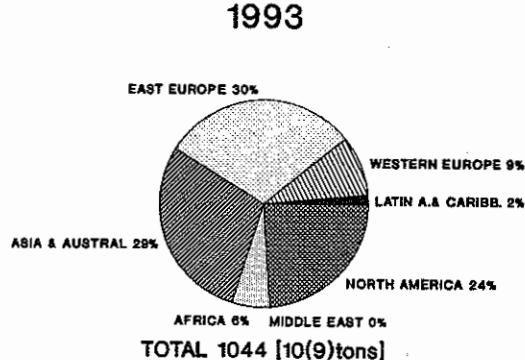
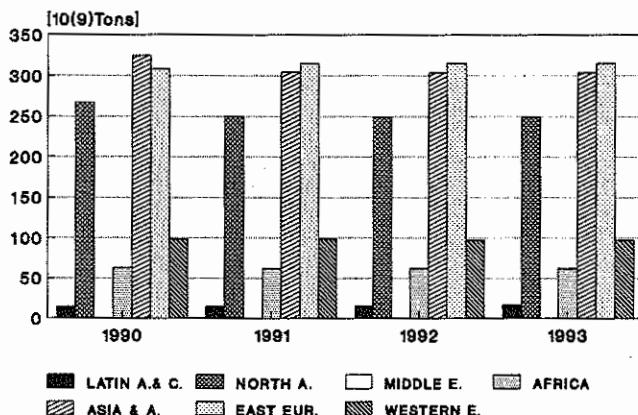
REGIONS	1970	1980	1990	1991	1992	1993	GROWTH RATE
LATIN A. & CARIBBEAN	1926	4519	6970	7072	7143	7065	-1.1 %
USA	7785	5516	4706	4800	4736	5974	26.1 %
CANADA	1435	2420	2764	2700	2664	1426	-46.5 %
WESTERN EUROPE	4174	3818	4964	5100	5300	5300	0.0 %
EAST EUROPE (Incl. CIS)	10004	25781	45800	50000	55600	57100	2.7 %
MIDDLE EAST	6653	20936	37503	37400	43100	44900	4.2 %
AFRICA	5606	5954	8076	8800	9700	9700	0.0 %
ASIA & AUSTRAL.	1910	4336	8453	8400	9500	8400	-11.6 %
WORLD	39493	73280	119236	124272	137743	139865	1.5 %



Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Energy Statistics Sourcebook 1993, Oil & Gas Journal, Years 1989-1993 BP Statistical Review of World Energy 1993

CARBON MINERAL / COAL

RESERVAS PROBADAS MUNDIALES / WORLD PROVEN RESERVES [10(9)Tons]

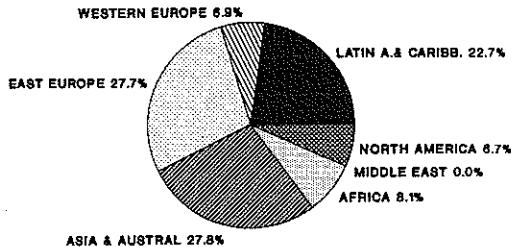


Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Years 1990-1993 BP Statistical Review of World Energy 1993

ELECTRICIDAD / ELECTRICITY

POTENCIAL HIDROELECTRICO MUNDIAL / WORLD HYDROPOWER POTENTIAL 1993

LATIN A & CARIBB.	728591
AFRICA	637
ASIA & AUSTRALASIA	894583
MIDDLE EAST	637
NORTH AMERICA	216707
EAST EUR.(Incl.CIS)	888874
WESTERN EUROPE	223233

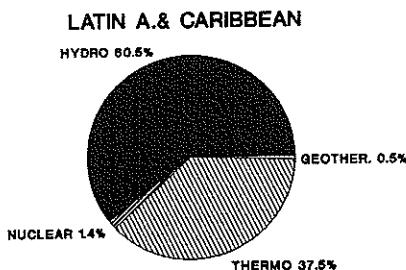
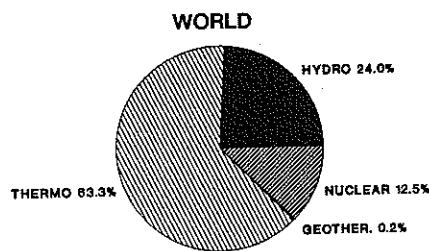


TOTAL: 3212.8 [GW]

CAPACIDAD INSTALADA MUNDIAL / WORLD INSTALLED CAPACITY 1993 [MW]

POWER STATION BY TYPE OF PLANT

REGIONS	HYDRO	THERMO	GEOTHER.	NUCLEAR	TOTAL
LATIN A. & CARIBBEAN	98329	64994	896	2350	166569
NORTH AMERICA	151800	532400	1600	115800	80160
WESTERN EUROPE	169000	321000	2200	124500	616700
EAST EUROPE (Incl. CIS)	78400	304000	0	44600	427000
MIDDLE EAST	3100	71500	0	0	74600
AFRICA	19800	53800	0	1900	75500
ASIA & AUSTRALASIA	126100	364000	1600	46500	538200
WORLD	646529	1711694	6296	335650	2700169



SOURCES: Latin A.& Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE).

Estimate by OLADE based on International Energy Annual 1989-1993. Energy Information Administration (EIA).

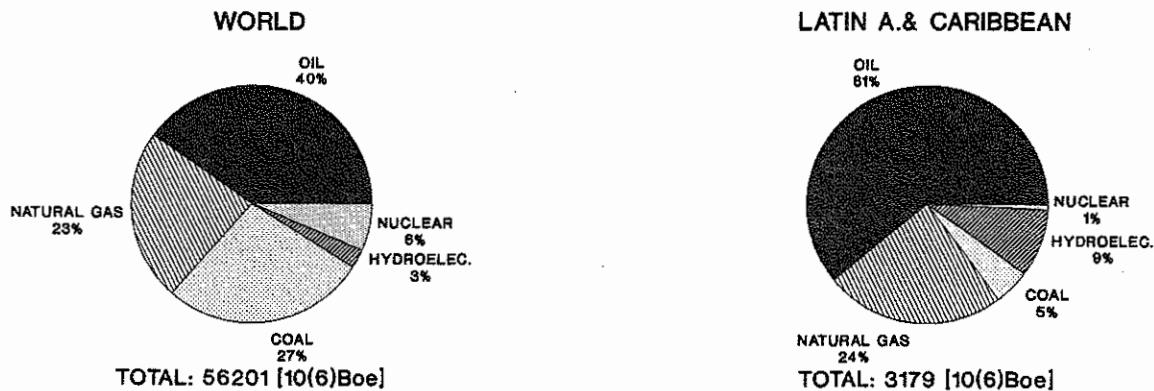
ENERGIA PRIMARIA / PRIMARY ENERGY

CONSUMO MUNDIAL / WORLD CONSUMPTION 1993 [10(6)Boe]

REGIONS	OIL	NATURAL GAS	COAL	HYDROELEC.	NUCLEAR	TOTAL
(*) LATIN A. & CARIBBEAN	1941	769	155	293	21	3179
USA	5678	3797	3564	314	1153	14506
CANADA	548	428	187	56	204	1423
WESTERN EUROPE	4667	1874	1884	281	1466	10172
EAST EUR. (Incl. CIS)	2392	4231	2698	178	90	9589
MIDDLE EAST	1249	588	32	11	0	1880
AFRICA	716	256	557	48	4	1581
ASIA & AUSTRALASIA	5440	1131	6358	287	655	13871
WORLD	22631	13074	15435	1468	3593	56201

SOURCE: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
 Energy Statistics Sourcebook 1992, Oil & Gas Journal. BP Statistical Review of World Energy 1993
 (*) Consumption includes final consumption, consumption in transformation centers and losses.

CONSUMO POR PRODUCTOS / CONSUMPTION BY PRODUCTS 1993



DERIVADOS DEL PETROLEO / OIL DERIVATIVES

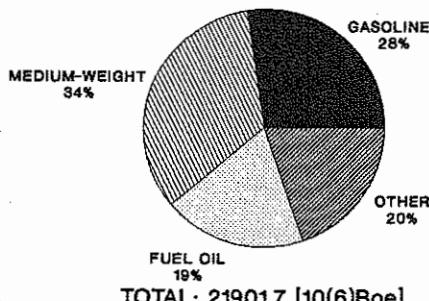
CONSUMO MUNDIAL / WORLD CONSUMPTION 1993 [10(3)Boe]

REGIONS	GASOLINES	MEDIUM-WEIGHT	FUEL OIL	OTHER(*)	TOTAL
LATIN A.& CARIBBEAN	524506	564172	409935	437249	1935862
USA	2346900	1584000	419300	1182300	5532500
CANADA	190500	150600	49100	129900	520100
WEST EUROPE	1205700	1910400	784700	718400	4619200
EAST EUROPE	682400	855200	945600	611400	3094600
MIDDLE EAST	185900	502100	259800	351500	1299300
AFRICA	162000	271000	137300	145100	715400
ASIA & AUSTRALASIA	728900	1501200	1223000	731600	4184700
WORLD	6026806	7338672	4228735	4307449	21901662

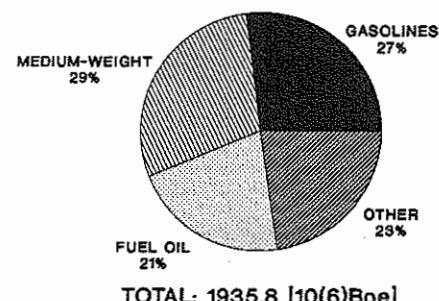
SOURCE: Latin A. & Caribbean; OLADE, Energy Economic Information System (SIEE)
 USA, Canada and Western E. BP Statistical Review of Word Energy 1993
 Middle East, Africa and East Eur. Word Energy Statistics and Balance IEA 1987-1993
 Asia and Austral.: Combination of both sources, 1989-1993 Calc.on the basis of BP growth rates.
 (*) OTHER: Includes LPG, Gases, Coke, Other Secondary and Non-Energy.

CONSUMO POR PRODUCTOS / CONSUMPTION BY PRODUCTS 1993

WORLD



WORLD



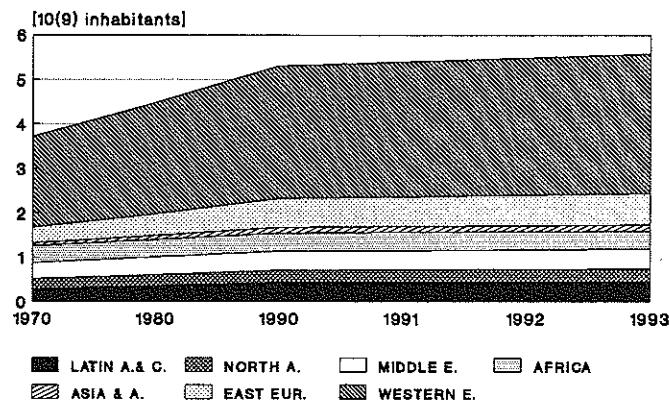
POBLACION / POPULATION

POBLACION MUNDIAL / WORLD POPULATION [10(6) Inhab.]

REGIONS	1970	1980	1990	1991	1992	1993	GROWTH RATE
LATIN A. & CARIBBEAN	281164	357766	433972	442570	451301	459561	1.8 %
USA	205325	227757	251235	253626	256040	258059	0.8 %
CANADA	21700	24043	26621	26912	27206	27421	0.8 %
WESTERN EUROPE	375434	396526	431541	437118	442767	448489	1.3 %
EAST EUROPE (Incl. CIS)	368907	399917	409065	407795	406529	405267	-0.3 %
MIDDLE EAST	69160	91590	128890	132580	136376	140281	2.9 %
AFRICA	361000	480812	647684	666127	685095	704603	2.8 %
ASIA & AUSTRAL.	2033581	2492552	2974689	3025906	3078005	3131001	1.7 %
WORLD	3716271	4470963	5303697	5392634	5483319	5574682	1.7 %

Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Demographic Yearbook 1986, 1993. ONU

POBLACION MUNDIAL / WORLD POPULATION POR REGIONES / BY REGIONS



PER CAPITA

CONSUMO PER CAPITA MUNDIAL DE ENERGIA PRIMARIA / WORLD PER CAPITA CONSUMPTION OF PRIMARY ENERGY
[Boe/inhabitants]

REGIONS	1970	1980	1990	1991	1992	1993	GROWTH RATE
LATIN A. & CARIBBEAN	6.55	7.39	7.18	7.07	7.03	6.92	-1.6 %
USA	56.20	55.92	54.77	55.07	55.58	56.21	1.1 %
CANADA	42.24	52.53	51.42	50.42	51.46	51.89	0.8 %
WESTERN EUROPE	20.43	22.55	22.43	23.08	22.91	22.68	-1.0 %
EAST EUROPE (Incl. CIS)	19.04	26.46	29.17	27.18	26.81	23.66	-11.7 %
MIDDLE EAST	7.53	10.66	12.78	12.83	13.42	13.40	-0.1 %
AFRICA	1.70	2.22	2.32	2.30	2.28	2.24	-1.6 %
ASIA & AUSTRAL.	2.49	3.24	4.11	4.22	4.34	4.43	2.1 %
WORLD	9.47	10.35	10.41	10.31	10.32	10.08	-2.3 %

Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Tables: Primary Energy Consumption and Population.

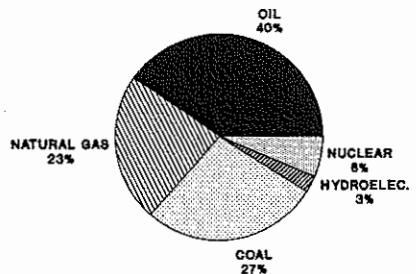
POR ENERGETICO / BY ENERGY PRODUCT

1993 [Boe/inhabitants]

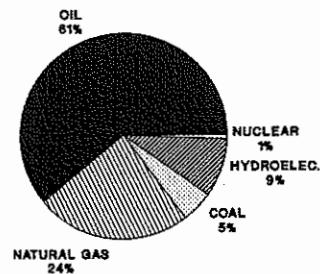
REGIONS	OIL	NATURAL GAS	COAL	HYDROELEC.	NUCLEAR	TOTAL
LATIN A. & CARIBBEAN	4.22	1.67	0.34	0.64	0.05	6.92
USA	22.00	14.71	13.81	1.22	4.47	56.21
CANADA	19.99	15.61	6.81	2.04	7.43	51.89
WESTERN EUROPE	10.41	4.18	4.20	0.63	3.27	22.68
EAST EUROPE (Incl. CIS)	5.90	10.44	6.66	0.44	0.22	23.66
MIDDLE EAST	8.80	4.19	0.23	0.08	0.00	13.40
AFRICA	1.02	0.36	0.79	0.07	0.01	2.24
ASIA & AUSTRAL.	1.74	0.36	2.03	0.09	0.21	4.43
WORLD	4.06	2.35	2.77	0.26	0.64	10.08

Sources: Latin A. & Caribbean; OLADE-CE, Energy-Economic Information System (SIEE)
Tables: Primary Energy Consumption and Population.

WORLD



LATIN A.& CARIBBEAN



PRECIOS / PRICES

PRECIOS SPOT DE CRUDOS SELECCIONADOS / SPOT PRICES OF SELECTED CRUDE OILS (US DOLLAR / BARREL)

	YEARS					
	1980	1985	1990	1991	1992	1993
ARABIAN LIGHT/DUBAI (1)	35.69	27.53	20.50	16.56	16.88	14.9
FORTIES/BRENT (2)	36.83	27.51	23.81	20.05	18.24	17.1
NIGERIA LIGHT	37.18	27.74	24.27	20.50	16.73	17.6
WEST TEXAS INTERMEDIATE	37.96	27.99	24.52	21.54	19.49	18.5

Sources: BP Statistical Review World Energy 1993

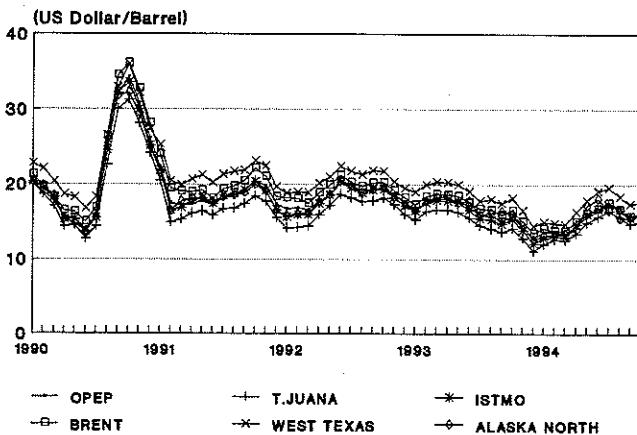
(1) 1975–1986 ARABIAN LIGHT (2) 1980–1984 FORTIES
DEC 86–1990 DUBAI 1985–1990 BRENT

PRECIOS REFERENCIA DE PETROLEO / REFERENCE PRICES OF CRUDE OIL (US DOLLAR/BARREL)

	1993				1994									
	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
OPEC (Basket)	15.24	15.75	14.47	12.87	13.70	13.77	13.40	14.52	15.74	16.50	17.43	16.86	15.71	16.08
ARAB LIGHT	14.70	15.48	14.30	12.50	13.63	13.46	13.04	14.27	15.43	16.46	17.07	16.63	15.89	16.06
DUBAI	14.18	14.81	13.65	12.16	13.18	12.90	12.28	13.83	14.85	15.74	16.40	15.82	15.28	15.35
BONNY LIGHT	16.44	17.08	15.66	13.96	14.74	14.50	14.39	15.55	16.72	17.21	17.85	16.98	16.01	16.77
SAHARAN BLEND	16.51	17.15	15.75	14.19	14.88	14.57	14.42	15.55	16.52	16.95	17.64	16.78	16.01	16.74
MINAS	16.33	16.14	15.14	14.05	14.58	15.15	14.04	14.23	15.61	16.70	19.25	19.45	16.45	16.60
T.JUANA LIGHT	13.73	14.18	12.85	11.14	12.03	12.70	12.63	13.49	14.92	15.75	16.48	15.72	14.75	15.09
ISTMO	14.79	15.39	13.92	12.10	12.87	13.08	13.00	14.70	16.12	16.69	17.32	16.61	15.59	15.95
OMAN	15.60	15.54	14.71	13.05	13.39	12.93	12.86	12.89	15.10	15.95	17.23	16.48	15.25	15.54
BRENT	15.99	16.59	15.12	13.51	14.14	13.88	13.88	15.06	16.18	16.79	17.54	16.72	15.81	16.30
WEST TEXAS	17.48	18.21	16.54	14.43	15.01	14.86	14.69	16.34	17.91	19.14	19.61	18.42	17.41	17.73
ALASKA NORTH S.	16.45	16.10	14.51	12.63	13.21	13.23	13.45	14.00	17.18	18.10	16.61	15.49	15.65	16.34

SOURCE: OPEC—BULLETIN YEARS 1990—1994.

PRECIOS DE REFERENCIA/REFERENCE PRICES



PRECIOS/PRICES

AMERICA LATINA Y EL CARIBE/LATIN AMERICA & CARIBBEAN

PRECIOS INTERNOS AL CONSUMIDOR (SEPTIEMBRE 1994) – DOMESTIC CONSUMER PRICES (SEPTEMBER 1994).

PAÍS COUNTRY	MONEDA NACIONAL (M.N.) NATIONAL CURRENCY (N.C.)	PARIDAD M.N./US\$ EXCHANGE RATE N.C./US\$	COMBUSTIBLES (US\$/Galón)–DOMESTIC FUELS (US\$/Gallon)						GAS L.P. L.P.G US\$/kg RESIDENTIAL	ELECTRICIDAD–ELECTRICITY		
			REGULAR REGULAR GASOLINE	GASOLINA EXTRA PREMIUM GASOLINE	DIESEL OIL	KEROSENE DOMESTICO HOUSEHOLD KEROSENE	JET FUEL	FUEL OIL		RESIDENCIAL US cent/kWh RESIDENTIAL	COMERCIAL US cent/kWh COMMERCIAL	INDUSTRIAL US cent/kWh
ARGENTINA	Pesos	1.00	2.23	2.99	0.98	1.02	0.87	0.46	1.00	11.85	21.08	18.30
BARBADOS	Barbadian Dollar	2.01	n/a	2.90	2.43	1.04	0.52	0.53	1.12	13.68	14.43	14.28
BOLIVIA	Boliviano	4.67	1.50	2.19	1.25	0.77	1.20	1.18	0.25	7.71	16.00	7.38
BRASIL	Cruceiro Real	0.85	2.32	n/a	1.59	1.51	0.98	0.75	0.45	9.94	11.62	6.24
COLOMBIA	Peso Colombiano	842.00	0.82	1.01	0.82	0.82	0.71	0.25	0.25	4.17	10.45	7.67
COSTA RICA *	Colón	160.05	-1.16	-1.28	-0.96	-0.99	-0.95	-0.49	-0.31	-6.04	-10.29	-7.92
CUBA	Peso Cubano	1.00	3.79	4.54	0.45	0.32	0.61	0.45	0.24	9.00	7.05	6.47
CHILE	Peso Chileno	424.00	1.60	1.60	1.19	1.02	0.77	0.48	0.57	12.03	10.14	7.02
ECUADOR	Sucre	2260.50	1.18	1.38	0.73	0.03	0.77	0.35	0.09	3.48	8.00	8.08
EL SALVADOR	Colón Salvador.	8.76	1.53	1.74	0.89	0.92	0.97	0.49	0.28	5.32	6.96	6.73
GRENADE *	Grenadian Dollar	2.70	n/a	-1.77	-1.39	-1.01	-1.16	n/d	-0.85	-20.37	-21.48	-17.41
GUATEMALA	Quetzal	5.81	1.40	1.47	1.12	1.01	1.01	0.68	0.29	6.71	8.75	10.06
GUYANA *	Guyanese Dollar	141.25	n/a	-1.26	-1.18	-0.88	-0.98	-0.71	-0.64	-7.75	-11.76	-10.34
HAITI *	Gourde	14.45	n/a	-1.30	-0.85	-0.83	-1.77	-0.52	-0.38	-8.92	-9.36	-6.30
HONDURAS	Lempira	8.77	1.25	1.30	0.97	0.74	0.99	0.66	0.37	6.27	10.60	10.72
JAMAICA *	Jamaican Dollar	33.29	-1.27	-1.33	-1.09	-0.88	-0.87	-0.43	-0.55	-13.82	-13.08	-11.50
MEXICO	Peso Mexicano	3.40	1.43	1.49	1.08	1.03	0.57	0.29	0.27	5.09	13.74	5.38
NICARAGUA	Córdoba de Oro	6.30	2.50	2.80	1.20	1.23	0.88	0.43	0.39	11.15	12.20	9.42
PANAMA	Balboa	1.00	1.45	1.50	1.03	1.00	0.80	0.59	0.30	12.08	11.88	10.04
PARAGUAY *	Guaraní	1925.00	-1.49	-1.65	-1.08	-1.22	-1.28	-0.68	-0.44	-4.98	-5.48	-3.95
PERU *	Nuevo Sol	2.25	-1.44	-1.98	-1.08	-0.92	n/d	-0.57	-0.44	-10.79	-11.11	-6.27
REP.DOMINICANA *	Peso Dominicano	13.51	-1.48	-1.78	-1.01	-1.38	-1.50	-0.59	-0.11	-8.59	-11.41	-10.29
SURINAME	Florín	1.79	n/a	2.11	1.55	1.36	1.36	0.25	0.72	17.08	17.30	13.13
TRINIDAD AND TOB	Trinidad Dollar	5.90	1.44	1.51	0.80	0.74	1.18	0.61	0.37	2.92	3.22	2.47
URUGUAY	Peso Uruguayo	5.59	2.73	3.12	1.35	1.44	1.11	0.53	0.70	12.74	13.20	7.67
VENEZUELA	Bolívar	169.83	0.12	0.13	0.10	0.07	0.20	0.08	0.07	0.79	2.33	1.62

FUENTE : OLADE – Sistema de Información Económica–Energética (SIEE).

SOURCE : OLADE – Energy–Economic Information System (SIEE).

1 barril=42 galones US=158.98 litros/1 barrel=42 US gallons=158.98 liters.

NOTAS: n/d no disponible

n/a no aplicable

NOTES: n/d not avail

n/a not applicable