

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA**



**ECONOMIA MINERAL DEL URANIO-
FUENTE DE ENERGIA NUCLEAR**

INFORME DE INGENIERIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :
INGENIERO DE MINAS**

ALFREDO GURMENDI CALLO

LIMA-PERU

1999

INDICE.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. POLÍTICA Y ESTRATEGIA DE ENERGÍA NUCLEAR.....	7
A. Política Minera-Energética	7
B. Estrategia Nuclear.....	8
C. Política Nuclear.....	8
D. Reactores Atómicos, LWR y LMFBR.....	9
E. Perspectiva Mundial de la Capacidad de Energía Nuclear.....	12
III. LA INDUSTRIA Y ABASTECIMIENTO DE URANIO A NIVEL MUNDIAL.....	14
A. Recursos y Reservas.....	14
B. Definiciones, Terminología, y Estudios de Recursos Uraníferos	15
B1. Recursos Uraníferos por Categorías.....	15
B1a. Recursos Razonablemente Existentes.....	15
B1b. Estimados de Recursos Adicionales - Categoría I.....	16
B1c. Estimados de Recursos Adicionales - Categoría II.....	16
B1d. Recursos Especulativos.....	16
B2. Categorías de Costos.....	17
B3. Correlación de Recursos y Costos.....	17
B4. Recursos Recuperables y Tipos de Menas (Ore) de Uranio.....	20
C. Geología y Depósitos Uraníferos.....	20
C1. Depósitos No-conformantes.....	20
C2. Areniscas.....	21
C3. Conglomerados.....	21
C4. Vetas.....	22
C5. Brechas Complejas.....	22
C6. Intrusivos.....	22
C7. Fosfatos.....	23
C8. Brecha-pipa Colapsada.....	23
C9. Volcánicos.....	23
C10. Superficiales.....	23
C11. Metasomáticos.....	24
C12. Metamórficos.....	24
C13. Lignitos.....	24
C14. Pizarras Negras.....	24
C15. Otros Depósitos.....	25

D. Recursos Conocidos.....	25
E. Recursos No-Descubiertos.....	28
F. Recursos No-Convencionales.....	28
IV. ACTIVIDADES OPERATIVAS DEL URANIO A NIVEL MUNDIAL.....	31
A. Actividades de Exploración.....	31
B. Producción de Uranio.....	33
C. Aspectos Ambientales y Seguridad por Radiación.....	37
D. Actividades de Mercado del Uranio.....	38
D1. Requerimientos de Uranio, Fuente de Energía Nuclear a Nivel Mundial.....	38
D2. Correlaciones de Oferta y Demanda.....	43
D3. Inventarios y Desarrollo de Precios.....	46
V. LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LOS ESTADOS UNIDOS.....	49
A. Actividades de Exploración y Desarrollo de Uranio.....	49
B. Recursos y Reservas.....	52
B1. Estimados de Recursos Potenciales.....	52
B2. Estimados de Reservas de Uranio.....	55
C. Producción Minera de Uranio.....	57
D. Producción y Entrega de Concentrados de Uranio.....	57
E. Ubicación, Estado de las Plantas de Procesamiento y Areas de Reservas de Uranio..	59
F. Oferta, Demanda, y Precios de Uranio.....	62
F1. Actividades de Mercado del Uranio.....	62
F2. Contratos y Precios de Compras.....	67
VI. SUMARIO Y CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS CITADAS Y BIBLIOGRAFÍA	77
VII. ANEXOS.....	79
TABLAS:	
Tabla 1.—Recursos Razonablemente Existentes a Nivel Mundial 1/1/97.....	26
Tabla 2.—Estimados de Recursos Adicionales a Nivel Mundial 1/1/97.....	27
Tabla 3.—Recursos No-descubiertos: Adicionales—Categoría II y Especulativos.....	30
Tabla 4.—Gastos Exteriores (Abroad) de Exploraciones de Uranio a Nivel Mundial.....	32
Tabla 5.—Capacidad de Producción de Uranio a Nivel Mundial, 1997-2015.....	34
Tabla 6.—Capacidad de Generación Nuclear hasta 2015 (MWe).....	39

Tabla 7.—Requerimiento Anual de Uranio Para Reactores Atómicos Hasta 2015 (tU).....	42
Tabla 8.—Precios Promedio de Uranio en el “Spot Market”	48
Tabla 9.—Sumario Estadístico Operativo de la Industria del Uranio en EE. UU, 1989-1998.....	50
Tabla 10.—Recursos Potenciales por Categorías y Costos Futuros, 1989-1998.....	54
Tabla 11.—Recursos Potenciales por Categorías, Costos Futuros, y Regiones, 1998.....	54
Tabla 12.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro “Forward Cost,” 1989-1998...	56
Tabla 13.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro por Estados, 1998.....	56
Tabla 14.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro y Método de Minado, 1998...	56
Tabla 15.—Producción de Uranio por Método de Explotación, 1989-1998.....	58
Tabla 16.—Operaciones de Procesamiento de Concentrados en EE. UU., 1989-1998.....	60
Tabla 17.—Compras de Uranio por las UAs por Origen y Clase de Material en 1998.....	66
Tabla 18.—Cantidades y Precios Promedios de las Compras de Uranio por las UAs, 1996-98..	68
Tabla 19.—Clases de Contratos Firmados por las UAs para Compras de Uranio en 1998.....	69
Tabla 20.—Contratos Firmados por las UAs en 1998 para Entregas Futuras, 1999-2008.....	69
Tabla 21.—Contratos Futuros para Entregas Domésticas y Extranjeras, 1999-2008.....	69
Tabla 22.—Requerimientos Anticipados Futuros de Uranio por las UAs, 1999-2008.....	71

ANEXOS

Tabla 1.—Underground Mines (Modelo Económico basado en 28 minas subterráneas).....	85
Tablas 2 y 3.—Effects of Stripping (1/1/80).....	88-89
Tabla 4.—Open Pit (Modelo Económico basado en 26 minas a Tajo Abierto).....	91

FIGURAS

Figura 1.—Necesidad Futura de un Reactor Tipo LMFBR.....	10
Figura 2.—Correlaciones Aproximadas de Términos Usados en la Clasificación de Recursos de Uranio a Nivel Mundial (NEA/IAEA).....	18
Figura 3.—Correlaciones de Costos y Clases de Recursos Uraníferos (NEA/IAEA).....	19
Figura 4A.—Distribución de Recursos de Uranio--RARs por País.....	29
Figura 4B.—Distribución de Recursos Adicionales de Uranio--EARs por País.....	29
Figura 5.—Tendencias de Gastos de Exploraciones Para Uranio a Nivel Mundial.....	32
Figura 6.—Producción Histórica de Mayores Productores de Uranio a Nivel Mundial.....	35
Figura 7.—Producción Reciente de Uranio a Nivel Mundial.....	36
Figura 8.—Capacidad de Generación Nuclear a Nivel Mundial: 353 GWe (1/1/97).....	40
Figura 9.—Capacidad Instalada de Generación Nuclear por Regiones: 353 GWe (1/1/97).....	41
Figura 10.—Requerimientos de Uranio a Nivel Mundial por Regiones (1/1/97).....	41

07/31/99

Alfredo Gurmendi Callo

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ing. Geo. Minera y Met

Figura 11.—Producción y Requerimientos de Uranio a Largo Plazo.....	44
Figura 12.—Producción y Requerimientos Históricos de Uranio en Países Selectos.....	45
Figura 13.—Correlación de Producción de Uranio y Requerimientos de Reactores en 1996.....	47
Figura 14.—Desarrollo Histórico de Precios de Uranio, 1972-1996.....	48
Figura 15.—Desembolsos Operativos y Producción de Uranio en EE. UU., 1989-1998.....	51
Figura 16.—Comparación Actual-Histórica de Recursos Uraníferos: DOE/EIA y NEA/IAEA..	53
Figura 17.—Regiones con Recursos Uraníferos en los Estados Unidos.....	53
Figura 18.—Areas Mayores con Reservas de Uranio y Estado (<i>Status</i>) de los Molinos y las Plantas de Procesamiento en los Estados Unidos, 1998.....	61
Figura 19.—Actividad Global de Mercado y Movimiento de Uranio, 1998.....	63
Figura 20.—Compras Mayores de Uranio por las UAs a Nivel Mundial en 1998.....	66
Figura 21.—Requerimientos Anticipados del Mercado de Uranio por las Uas, 1999-2008.....	71

ANEXOS

Figura 1.—Colorado Plateau Underground Mining Cost.....	86
Figura 2.—Wyoming Underground Mining Cost.....	87
Figura 3.—Effect of Stripping in Open-Pit Mining.....	90
Figura 4.—Colorado Plateau Open-Pit Mining Cost.....	92
Figura 5.—Wyoming Open-Pit Mining Cost.....	93
Figura 6.—Texas Open-Pit Mining Cost.....	94
Figura 7.—Spokane Open-Pit Mining Cost.....	95
Figura 8.—Uranium Ore Processing Costs.....	96

CARTAS

Certificado de Trabajo.....	97
Cartas de Referencia Sobre Desempeño Profesional en Los Estados Unidos.....	98-102
Permiso vía Internet para Uso de Ilustraciones por Parte de OECD-NEA/IAEA.....	103
Factura (Invoice) por Compra de URANIUM: 1997 Resources, Production and Demand, Reporte Conjunto Preparado por OECD-NEA/IAEA.....	104
Intercambio de Notas vía Internet con Colegas de U.S. Department of Energy/Energy Information Administration, para Usar Ilustraciones de la Publicación Anual, Uranium Industry Annual 1998 [DOE/EIA-0478(98)].....	105-106

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio, titulado: ECONOMIA MINERA DEL URANIO—FUENTE DE ENERGIA NUCLEAR, representa 20 años de experiencia profesional en la industria minera del uranio, particularmente, en los Estados Unidos (EE.UU). Este trabajo es para obtener el título de Ingeniero de Minas de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú. Cuento con 40 años de experiencia profesional en las industrias mineras metálicas, industriales, y energéticas logrados, principalmente, en el Perú y los EE.UU, así como también a nivel mundial durante mis asesoramientos técnicos brindados a mis empleadores.

En el Perú trabajé para *Cerro de Pasco Corporation* en Casapalca y Morococha (1960-64); Ministerio de Fomento y Obras Públicas (1965); y la Universidad Nacional de Ingeniería (1965). En los EE.UU, después de concluir mis estudios post-grado en minería y economía minera en *Colorado School of Mines de Golden, Colorado* (1965-67), trabajé en las operaciones mineras de *Anaconda Company* (1967-76) en sus mundialmente famosas minas de uranio *Jackpile* y *Paguate* en el Estado de *New Mexico*.

Después de obtener mi *Master in Business Administration* de *University of New Mexico* (1973-75), trabajé para *United States Department of Energy* (1976-79) en su programa de procura de uranio (U_3O_8) y conversión a U_{235} para generar energía nuclear usando reactores atómicos de agua ligera o *light-water reactor* (LWR). También trabajé para *Exxon Minerals Company* (1979-82) en su programa minero-energético para adquirir yacimientos mineros de cobre, plomo, zinc, oro, plata, carbón, y uranio en las Américas como también a nivel mundial, a través de adquisiciones directas y *joint-ventures* de proyectos minero-energéticos, particularmente, en Canada (uranio), Chile (metales básicos), y Colombia (carbón). Trabajé para *Tennessee Valley Authority* (1983-85) en su

programa denominado derechos mineros de uranio o *uranium mineral rights of TVA*, en el oeste de los EE.UU, para producir concentrados de uranio (U_3O_8 ó yellow cake) de sus propios depósitos o comprándolos en el mercado mundial para uso en sus propios reactores atómicos y generar energía nuclear. También trabajé para *Mineral Systems Inc.* en *Stamfort, Connecticut* (1982-83) y *Golden Engineering Management Inc.* en *Golden, Colorado* (1984-87) en sus programas de asesoría técnica, a nivel mundial, en proyectos minero-energéticos apoyados por las Naciones Unidas, el Banco Mundial, y el Banco Inter-Americano de Desarrollo. Finalmente, trabajé y continuo trabajando para *United States Department of Interior* en sus programas *U.S. Bureau of Mines* (1987-96) y *U.S. Geological Survey* (1996-presente) realizando estudios especiales sobre las industrias mineras o *Mineral Yearbook Chapters (MYBs)* en Africa, Canadá, y Latino América, especialmente, en orden alfabético en los siguientes países: Angola, Belize, Brasil, Canadá, Cuba, Congo, Ecuador, El Salvador, Guiana Francesa, Guyana, Honduras, Paraguay, Perú, Suriname, Trinidad y Tobago, y Uruguay. Los *MYBs* se refieren a las actividades minero-energéticas, programas y políticas mineras gubernamentales como códigos mineros y de medio ambiente, y oportunidades de inversiones que cada país ofrece al inversionista tanto nacional como extranjero.

Dejo constancia que la preparación de este estudio ha sido posible en gran parte merced a tantos estudios anteriores por diversos autores que han efectuado trabajos meritísimos y valiosos en relación a la minería y economía minera del uranio y minerales energéticos a nivel mundial. De ellos he tomado citas, gráficos, tablas, figuras, y conclusiones, citándolos en forma expresa con implícito reconocimiento de la excelencia de sus aportes, particularmente, en la geología económica del uranio y su uso para generar energía nuclear, que me han permitido presentarlo y ofrecerlo como una contribución al posible futuro de la minería del uranio en el Perú.

II. POLITICA Y ESTRATEGIA DE ENERGIA NUCLEAR

A. Política Minera-Energética

Un elemento vital, en planeamiento energético y desarrollo de una política minera, es el conocimiento real de la existencia y disponibilidad de recursos naturales energéticos tal como el uranio y el plutonio. De tal manera, en base a ellos y con fines pacíficos, se puede generar electricidad competitivamente.

En la actualidad, hay un interés en conocer la extensión y disponibilidad económica de U_3O_8 ó uranio equivalente U a niveles doméstico (EE.UU) y mundial. Particularmente, en vista de la necesidad de abastecer concentrados de uranio, pasta amarilla (*yellow-cake*), al proceso de conversión del U_3O_8 ó U a uranio-hexafloro (UF_6). UF_6 es usado como material de carga en el proceso de enriquecimiento de uranio. Actualmente, existen dos tipos de enriquecimiento comercial, la difusión gaseosa y centrífuga, la primera es usada en los EE. UU. El UF_6 en estado gaseoso es filtrado a través de una serie de membranas porosas, debido a que el UF_6 contiene los isótopos U_{235} (0.7%), el cual es naturalmente fisionable, y U_{238} (99.3%), el cual no es fisionable. En este proceso de filtrado las moléculas UF_6 que contienen el isótopo U_{235} difusan o se separan más rápidamente que los isótopos U_{238} a través de los filtros. U_{235} enriquecido se obtiene en la repetición sucesiva de filtrado. En este proceso, la concentración de U_{235} aumenta de 0.7% hasta 3.5%. Este material enriquecido se usa como combustible en reactores atómicos LWR. Una planta nuclear tipo LWR, cuando nueva, tiene un período o ciclo operativo de 40 a 50 años.

En este estudio se considera una política minera-energética basada en el uso de una planta nuclear tipo LWR; sobre todo, considerando el largo plazo que tomaría el desarrollo de un reactor tipo metal-líquido-reactor-rápido o el *liquid metal fast-breeder reactor* (LMFBR), apesar de que el LMFBR

usaría menos U_3O_8 ó U enriquecido como isótopo U_{235} , para producir electricidad competitivamente. Señalamos, también, el futuro económico del uranio y su impacto en ciertas políticas en el campo nuclear, basado en el uso de reactores atómicos tipo LWR.

B. Estrategia Nuclear

De particular relevancia son las estrategias y programas de energía nucleares, tanto a corto plazo como a largo plazo. A corto plazo, la estrategia nuclear sería, usar la tecnología actual del reactor atómico tipo LWR, sin reciclaje de residuos nucleares, como una option viable para producir electricidad durante los comienzos del Siglo XXI. La tecnología LWR implica la fisión nuclear. A largo plazo, implica la fusión nuclear, para tal debe desarrollarse nuevas tecnologías que usen el uranio y plutonio más eficiente y competitivamente.

La estrategia nuclear, particularmente en los EE.UU, envuelve: (1) evaluación de los recursos uraníferos del país; (2) utilización eficiente del uranio por los reactores tipo LWR; y (3) uso de plantas de enriquecimiento de uranio más eficientes, como el tipo centrífugo, para enriquecer U_3O_8 y producir U_{235} como materia prima en la producción de energía eléctrica barata. La tercera estrategia nuclear mantendría bajos residuos de enriquecimiento y daría un porcentaje más alto de utilización del uranio.

C. Política Nuclear

Un factor inportante, sobre todo a largo plazo, en una estrategia nuclear es el papel que jugaría un reactor tipo LMFBR. Sinembargo, existe la incertidumbre de la competitividad económica de dicha tecnología comparada con la tecnología existente, un reactor tipo LWR. Actualmente, estos factores, considerados en conjunto reducirían la demanda por U_3O_8 ó U. Además, la viabilidad del reprocesamiento de los residuos de los reactores tipo LWR, para recuperar uranio y plutonio como

reciclables no es eficiente, todavía y el potencial de riesgo en la proliferación del plutonio en una carrera armamentista es una realidad, la cual sería, tal vez, minimizada con los tratados actuales de no agresión y la ya concluida, la famosa, guerra fría entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Consecuentemente, reciclaje sería postergado, sobre todo, en los EE.UU hasta que el plutonio, en particular, sea utilizado como reciclable en los reactores LWR o LMFBR.

D. Reactores Atómicos LWR y LMFBR

La Figura 1 representa la relación entre precios del uranio, crecimiento de la energía nuclear, y costo de un reactor LMFBR. Se consideran tres alternativas, las proporciones comparables 1.75, 1.50, y 1.25 entre los costos de reactores LMFBR y LRW. Para cada alternativa, se consideran dos proyecciones de precios intermedio y alto de U_3O_8 en función a su uso total. Por ejemplo, asumiendo un consumo de 2 millones de toneladas métricas de U_3O_8 , los precios intermedio y alto serían \$30/lb y \$50/lb, respectivamente. Tres casos de crecimiento eléctrico, 200, 300, y 400 gigawatios (GWe) son proyectados y considera tres alternativas de capacidad nuclear proyectadas hasta el año 2020.

Si el costo de un reactor LMFBR es 1.75 veces mayor que un reactor LWR, no habría una base económica para tener un LMFBR en operación hasta después del año 2020. Si el caso fuese 1.5 veces más y a un costo intermedio de uranio, tampoco habría necesidad de un reactor LMFBR hasta el año 2020. Sin embargo, si el precio del uranio fuese alto y se adopta un crecimiento eléctrico alto, habría una justificación económica para el uso de un reactor LMFBR en el periodo 2010-2020. Si el costo fuese 1.25 veces más, un precio alto de uranio, y un alto crecimiento nuclear, la justificación sería para los años 2000 al 2010. Finalmente, con un costo 1.25 veces mayor, alto precio de uranio, y bajo crecimiento eléctrico, el reactor LMFBR sería postergado hasta la década de 2010-2020.

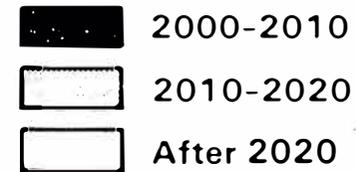
Figura 1

NECESIDAD FUTURA DE UN REACTOR TIPO LMFBR¹

Fast Breeder Reactor Capital Cost ²	U ₃ O ₈ Price	Installed Nuclear Capacity (Gigawatts Electric)								
		200			300			400		
		400	500	600	500	600	700	600	700	800
1.75	Intermediate									
	High									
1.50	Intermediate									
	High						■	■	■	■
1.25	Intermediate								■	■
	High	■	■	■	■	■	■	■	■	■

← Year 2000

← Year 2020



¹ Assumes 15 percent improvement in U₃O₈ utilization

² Relative to a light water converter reactor

Fuente: "Uranium Issues and Policies: An Overview by John A. Patterson," U.S. DOE/10/79, Washington, D.C.

Las incertidumbres asociadas con los costos de reactores LMFBR, crecimiento de energía nuclear, y precios de uranio a largo plazo, como las incertidumbres políticas, indican proseguir con la mejora técnica actual de los reactores LWR y con un uso eficiente del uranio. Sin embargo, el reactor LMFBR continuará siendo un tópico muy importante y que impactará la producción y demanda de uranio en el tercer milenio, pero invocaría la proliferación armamentista y la necesidad de procedimientos adecuados de seguridad y protección ambiental. Hasta que estos aspectos no sean resueltos, sobre todo en los EE.UU y Rusia, habría la tendencia de postergar la comercialización de tecnologías nucleares nuevas, que también podrían utilizar plutonio. Si asumimos que la capacidad de los reactores LWR son sustentables y pueden ser abastecidos con uranio, suficientemente a corto y mediano plazo; todo esto, en conjunto, serían indicadores de cuando proceder con otras opciones nucleares, tal como el uso de plutonio, convertidores avanzados como el tipo LMFBR, y cuando desarrollar otras fuentes de energía eléctrica económicamente, tal como solar, viento, energía geotermal, y en particular la fusión nuclear a largo plazo. Desde éste planteamiento me abocaré, sólomente, a aspectos específicos y relacionados al uso de uranio en la generación eléctrica en base a reactores tipo LWR. Y esto, en particular, porque los EE.UU cesó su programa de construcción nuclear y su capacidad actual es sólomente de 62 GWe. También se anticipa que la demanda más alta de uranio sería de 20,500 tU en el año 2003 y que el promedio sería de cerca de 17,300 tU a comienzos del Siglo XXI. NUKEM estima que el 92% de las necesidades de uranio de las “*American Utilities*” (AUs) serían cubiertas por sus contratos actuales; sin embargo, dichos contratos cubrirían únicamente 3% en el año 2003. En diciembre de 1998, las AUs tuvieron alrededor de 44.8 Mlb de U_3O_8 como exceso de inventarios, lo que señala una buena oportunidad para los productores de uranio a nivel doméstico y mundial, únicamente a corto plazo (U.S. DOE/EIA, 1999, p. 13).

E. Perspectiva Mundial de la Capacidad de Energía Nuclear

Primeramente, NUKEM, y *U.S. Department of Energy/Energy Information Administration* (U.S. DOE/EIA) de los EE. UU., y *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) *Nuclear Energy Agency e International Atomic Energy Agency* (OECD/IAEA) de París, Francia y Vienna, Austria, respectivamente, anticipan un crecimiento continuo en la demanda de uranio hasta el año 2001, y se espera que la demanda mundial llegue a un equivalente de 60,900 tU (158.3 Mlb de U_3O_8) en el año 2003. Sin embargo, a comienzos de 2005 (150.9 Mlb), se pronostica que la demanda de U_3O_8 decrecerá gradualmente, hasta 120.9 Mlb en 2020, debido a que algunos reactores existentes alcanzarán el fin de su ciclo económico y obsolescencia (U.S. DOE/EIA, 1997, 1998, y 1999). Seguidamente, después del año 2005, se espera una reducción dramática en la capacidad nuclear actualmente instalada. NUKEM y OECD proyectan que la capacidad generativa de energía nuclear, mundialmente, aumentaría hasta 405 GWe en el año 2005 de 353 GWe a fines de 1997 (OECD/IAEA, 1997, p.59). Lo cual representaría un aumento de 14.7% de capacidad en un periodo de 8 años. Pero, considerando obsolescencia, dicha capacidad instalada puede llegar a 372 GWe. Esta reducción sería mucho mayor en los EE.UU, porque ha descontinuado su programa de construcción nuclear; cuya capacidad generativa puede reducirse a 62 GWe de la actual 101 GWe. Esto combinado con la expansión nuclear mínima de Europa; daría ocasión a un cambio geográfico significativo de la capacidad nuclear mundial hacia el Este de Asia (*Far East*) donde Japón, Taiwan, Korea del Sur, y Korea del Norte cuyas capacidades combinadas podrían llegar a 92 GWe, el que representaría un aumento del 70% de la capacidad generativa actual de 54 GWe.

En 2005, los EE.UU y Europa del Oeste reducirían su capacidad generativa de energía nuclear a un 54% del total, y después dicha capacidad podría bajar aún más. La necesidad de uranio también

reduciría del nivel actual de 65% de la demanda mundial a 53% en el año 2005. En el mismo periodo las necesidades de uranio de los países orientales, *Far East*, podría incrementar casi 50%, el que representaría un incremento del 25% de la demanda mundial de uranio. En los países Rusos del “*Commonwealth of Independent States*” (CIS), se espera que el programa nuclear sea reducido debido al desastre nuclear de Chernobyl en 1986. En muchos países del bloque CIS, sin embargo, la contribución de la energía nuclear al abastecimiento de la red energética es considerable, por lo tanto reemplazar los reactores atómicos existentes tomaría más tiempo. Se considera que regionalmente, en los países CIS, la capacidad generativa de energía nuclear aumentaría de 46 GWe en 1996 a 56 GWe en 2005. Pero la inestabilidad económica y política haría que tal capacidad nuclear sea revisada. Hay planes para construir plantas nucleares en otros países del mundo, pero la falta de licencia y financiamiento de construcción podrían demorar tales planes hasta después del año 2005. Realísticamente, NUKEM cree que dichos planes serían influenciados por los programas nucleares de la China y posiblemente de la India. Dicha capacidad generativa nuclear en otros países, como Argentina, Brasil, México, India, Pakistán, China, Sud África, Corea del Norte, y Canadá, es proyectada que aumente de 23.5 GWe a 37.6 GWe en el año 2005 (Mining Journal, 1996f). Después de éste análisis y tomando en cuenta las consideraciones políticas y estrategias nucleares a niveles mundial y de EE. UU., me abocaré a la economía minera del uranio y al uso de U_3O_8 ó U como materia prima para la generación de energía nuclear. Este estudio está principalmente basado en el Reporte Sumario Biennial del Uranio preparado por OECD/IAEA, el Reporte Anual de la Industria del Uranio de los EE. UU. preparado por U.S. DOE/EIA, y experiencias propias, adquiridas trabajando por *Anaconda Company*, *Exxon Minerals Company*, *Tennessee Valley Authority*, y los estudios realizados para U.S. DOE/EIA.

III. LA INDUSTRIA Y ABASTECIMIENTO DE URANIO A NIVEL MUNDIAL

A. Recursos y Reservas

Es importante conocer la existencia de recursos y reservas de uranio que cubran las necesidades nucleares a largo plazo y adecuadamente. A mediados de los 1960s, la Agencia de Energía Nuclear (NEA-*Nuclear Energy Agency*) de OECD y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA *International Atomic Energy Agency*) empezaron a publicar el reporte “*Uranium*” cada dos años y es denominado el Libro Rojo (RB-“*Red Book*”). Este RB reporta estimados de recursos uraníferos de varias categorías económicas con proyecciones de exploración, producción, capacidad nuclear y necesidades e inventarios de uranio a nivel mundial. El RB discute desarrollos políticos, estratégicos, económicos recientes de la industria del uranio, los mismos que impactarían el futuro inmediato (15 años) y a largo alcance (40 años) de la oferta, demanda, y precios del uranio. Los estudios de corto y largo plazos son realizados y presentados en el RB cada dos y cuatro años, respectivamente. Sin embargo, las publicaciones recientes del RB, a largo plazo, fueron realizados en 1986, 1990, y 1998. En 1993, fué decidido que el RB a largo alcance se publicaría así como fuese necesario.

En EE.UU., el programa nacional de evaluación de recursos de uranio (NURE - *National Uranium Resource Evaluation*) precisamente se dedica a determinar los niveles económicos de recursos existentes para sostener la producción de energía nuclear a largo plazo y a un crecimiento sostenido con una adecuada protección del medio ambiente. Es importante que la cantidad y calidad de recursos uraníferos disponibles y necesarios en el tercer milenio sean a un costo que mantenga la industria nuclear americana competitiva, produciendo energía eléctrica barata usando reactores atómicos tipo LWR a corto plazo y tipo LMFBR a largo plazo.

NURE empezó bajo la dirección de la Comisión Americana de Energía Atómica (*AEC-Atomic Energy Commission*) realizar evaluaciones completas de recursos uraníferos, entre 1974 y 1983, en los EE.UU., particularmente en los Estados de Arizona, Colorado, New Mexico, South Dakota, Texas, Utah, Washington, y Wyoming. AEC fué remplazada por la Administración de Investigación y Desarrollo de Energía (*ERDA-Energy Research and Development Administration*) en 1976, y después por el Departamento Americano de Energía (*U.S. Department of Energy*) en 1978. El programa NURE incluyó levantamientos aéreos, magnéticos, radiométricos, y corrientes de agua e hidrogeoquímicos. Se realizaron también perforaciones geológicas en áreas selectas, levantamientos geofísicos en perforaciones determinadas, y estudios geológicos para identificar y evaluar ambientes geológicos favorables de uranio.

B. Definiciones, Terminología, y Estudios de Recursos Uraníferos

Los estimados de recursos uraníferos (ERUs) son clasificados en categorías que reflejan niveles de confianza de tales estimados en bases económicos, particularmente, costos de producción. Los ERUs son expresados en toneladas métricas (t) de uranio equivalente recuperables (U) de menas minables a costos entre \$40/kg U ó menor, \$40-\$80/kg U, \$80-\$130/kg U, y \$130-\$260/kg U, reportados en 1997. Los ERUs de la primera categoría (\$40/kg U = \$15.38/lb U₃O₈) reflejan precios actuales de mercado para el uranio.

B1. Recursos Uraníferos por Categorías

Las distintas categorías de recursos uraníferos, a nivel mundial, están clasificados siguiendo las normas internacionales de la NEA-OECD/IAEA en la publicación “*Uranium*” 1997, París, Francia.

B1a. Recursos Razonablemente Existentes (*RARs - Reasonably Assured Resources*)

Los recursos RAR se refieren a los ERUs que ocurren en yacimientos conocidos, delineados, de

configuración y contenido de uranio (porcentaje de leyes químicas) tales que pueden ser recuperados dentro un costo dado y con tecnología específica (subterráneo, tajo abierto, lixiviación, sub-producto de fosfatos, y co-producto de cobre, y otros). RARs son ERUs con tonelaje y leyes basados en mediciones actuales y conocimiento pleno de las características geológicas del depósito o yacimientos minables. RARs tienen un alto nivel de confianza económica.

B1b. Estimados de Recursos Adicionales—Categoría I (*EARs-I -- Estimated Additional Resources—Category I*)

EARs-I se refieren al uranio de ocurrencia inferida, basados en evidencias geológicas directas y en las inmediaciones de yacimientos bien explorados, o en depósitos en los cuales una continuidad geológica es establecida, con información específica que incluye medidas del depósito; sin embargo, las características del depósito pueden ser inadecuados para clasificar los recursos como RARs.

B1c. Estimados de Recursos Adicionales—Categoría II (*EARs-II -- Estimated Additional Resources—Category II*)

EARs-II se refieren al uranio adicional a EARs-I, se espera que estos recursos existan basados en evidencias geológicas indirectas o sea proyecciones geológicas bien definidas y en áreas de mineralización conocida en depósitos existentes. Los estimados de tonelaje, leyes y costos de descubrimiento, delineación, y recuperación son basados en el conocimiento de las características del yacimiento y las evidencias geológicas, geofísicas, y geoquímicas disponibles; sin embargo, EARs-II tiene menor nivel de confianza que los estimados de la categoría anterior o EARs-I.

B1d. Recursos Especulativos (*SRs - Speculative Resources*)

Los SRs se refieren al uranio adicional a los recursos EARs-II, se cree que ellos existan basados en evidencias indirectas y extrapolaciones geológicas en depósitos descubiertos con tecnologías de exploraciones existentes. Como el término lo indica, el tamaño y existencia de los recursos

uraníferos son especulativos.

La Figura 2 muestra la correlación de los recursos previamente descritos y usados por otros mayores sistemas de clasificación en los países productores de uranio a nivel mundial.

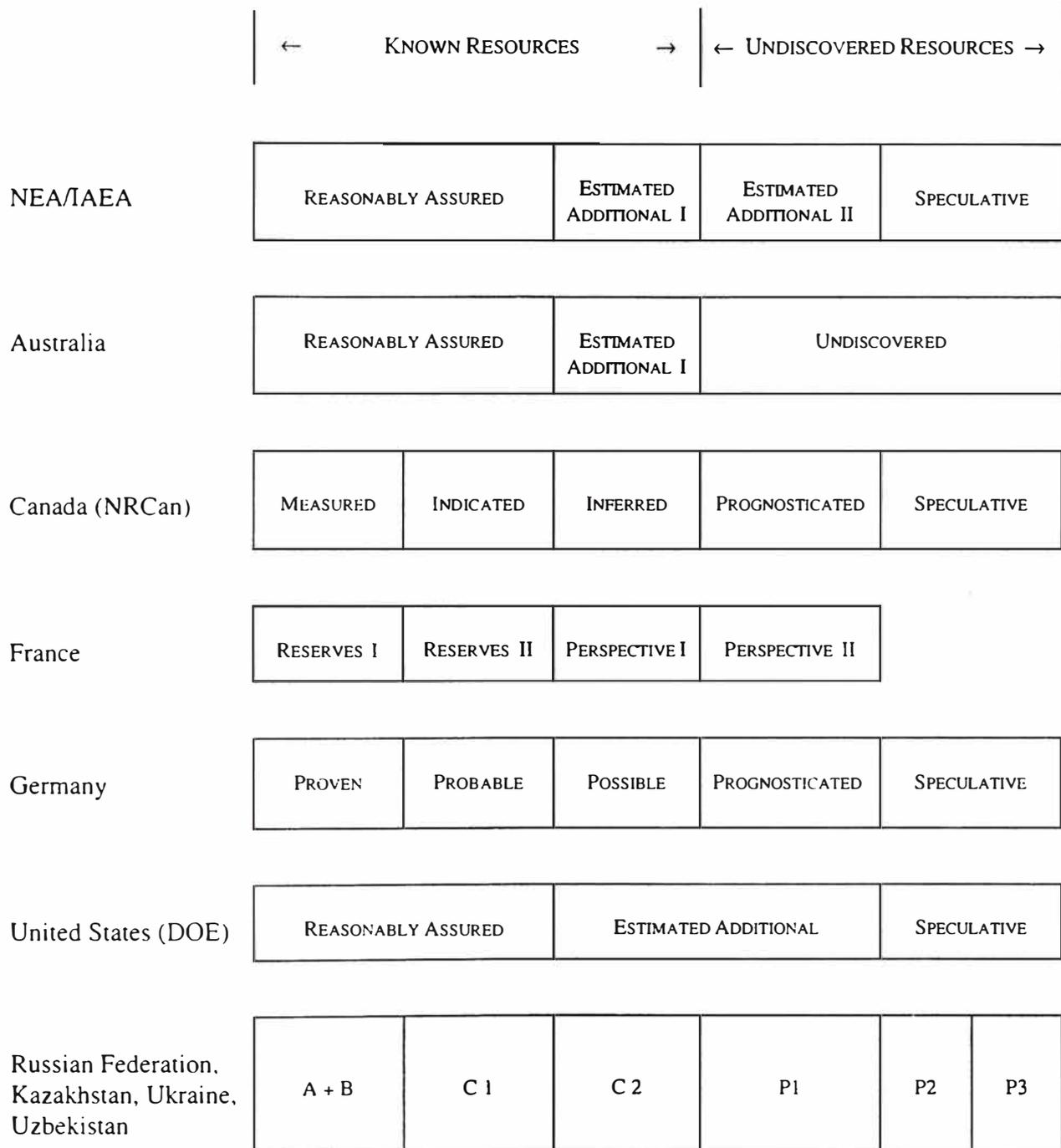
B2. Categorías de Costos

Los costos usados para éste estudio son en dólares 1997. Las categorías equivalentes, entre U y U_3O_8 , están basados en el uso del factor 2.6, y los costos son: [$\$40/\text{kg U} = \$15.38/\text{lb } U_3O_8$]; [$\$80/\text{kg U} = \$30.77/\text{lb } U_3O_8$]; [$\$130/\text{kg U} = \$50/\text{lb } U_3O_8$]; y [$\$260/\text{kg U} = \$100/\text{lb } U_3O_8$]. Sin embargo, las categorías altas de costos (arriba de $\$15.38/\text{lb}$) no reflejan las condiciones actuales del mercado. Todos los costos-categoría representan pasta amarilla (*yellow cake*) producida considerando costos directos de producción, transporte, y procesamiento de mena; costos asociados con medio ambiente y relaves; costos de mantenimiento de equipo; costos de capital, amortización, y financiamiento como sean necesarios para minas y/o plantas nuevas o en expansión; costos indirectos como sean necesarios (oficina, impuestos, y regalías); y costos futuros de exploración y desarrollo como sean necesarios para menas de uranio minables. Fondos de amortización no son considerados para depósitos en producción actual, sólomente costos futuros (“*cash costs*”).

B3. Correlación de Recursos y Costos

La Figura 3 ilustra la clasificación de recursos uraníferos y los respectivos costos para las categorías ya descritas. La abscisa horizontal representa el nivel de confianza y existencia de los recursos estimados basados, principalmente, en el conocimiento geológico de los depósitos, cantidad y calidad de los recursos. La abscisa vertical representa la factibilidad económica de producción en cada categoría. Las líneas interrumpidas, entre los recursos RARs, EARs-I, EARs-II, y SRs en las categorías de alto costo, indican que la confianza no es precisa. Las áreas oscuras indican que

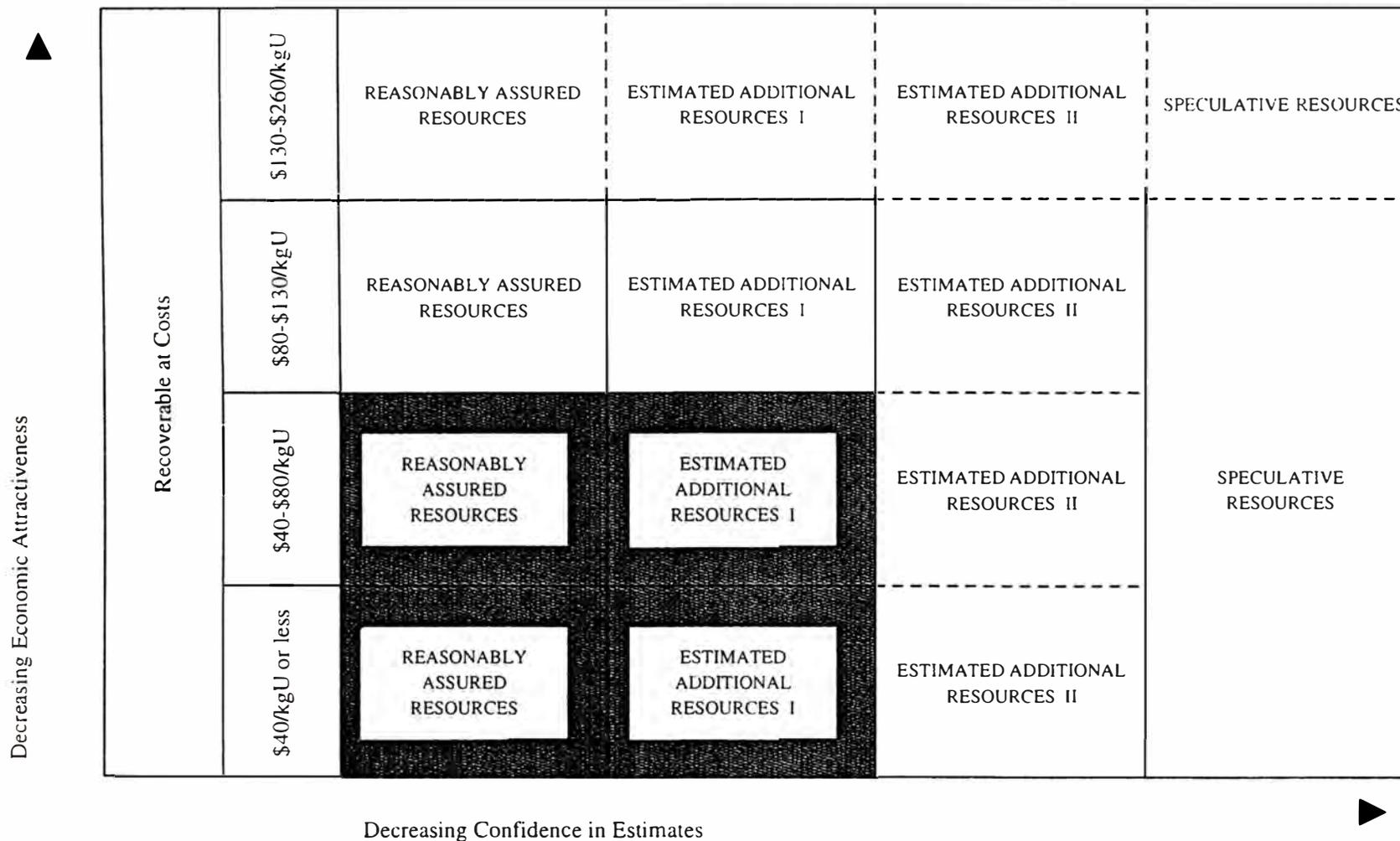
Figura 2. Correlaciones Aproximadas de Términos Usados en la Clasificación de Recursos de Uranio a Nivel Mundial (NEA/IAEA)



The terms illustrated are not strictly comparable as the criteria used in the various systems are not identical. "Grey zones" in correlation are therefore unavoidable, particularly as the resources become less assured. Nonetheless, the chart presents a reasonable approximation of the comparability of terms.

Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

Figura 3. Correlaciones de Costos y Clases de Recursos Uraníferos (NEA/IAEA)



Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

los recursos conocidos como RARs y EARs-I y a costos recuperables de \$80/kg U ó menor son de suma importancia, porque dichos recursos sostendrían la producción mundial de uranio en concentradoras existentes y/o planeadas. Los recursos RARs y a precios de mercados prevalentes son considerados como reservas de uranio. En la Figura 3, las líneas llenas representan recursos uraníferos, EARs-II y SRs, todavía no descubiertos.

B4. Recursos Recuperables y Tipos de Menas (Ore) de Uranio

Los estimados de recursos son expresados en términos de uranio recuperado de las menas minables, en lugar de cantidades de uranio contenidas en un yacimiento. Las pérdidas debido a la producción de mena (dilución) y al proceso de concentración (recuperación de planta) son deducidos para obtener la pasta amarilla, como U equivalente o como U_3O_8 . Sin embargo, no se consideran pérdidas de producción y recuperación de uranio cuando la pasta amarilla proviene de recursos “in situ,” los que se recuperan por lixiviación (ISL). También distinción se hace entre recursos convencionales (tajo abierto y subterráneo) y no-convencionales (sub-producto de fosfatos y co-producto de cobre). Para entender mejor el concepto de recursos uraníferos, referencia se hace a las diferentes formaciones geológicas y a depósitos que contienen menas de uranio.

C. Geología y Depósitos Uraníferos

Los recursos de uranio a nivel mundial pueden ser asignados en base a sus formaciones geológicas. La clasificación hecha por IAEA en 1988-89, está conformada de acuerdo al significado económico de tales recursos y de acuerdo a IAEA, existen 15 principales depósitos de uranio.

C1. Depósitos No-conformantes

Depósitos unconformes (falta de paralelismo entre dos estratos contiguos) ocurren espacialmente cerca de mayores disconformidades. Tales depósitos se desarrollaron durante el periodo de 1800-

800 millones de años, pero también durante el periodo Phanerozoic. Ejemplos de éste tipo de depósitos son los yacimientos en Cluff Lake, Key Lake, y Rabbit Lake en la parte norte de Saskatchewan, Canadá y aquellos yacimientos en el área de los Alligator Rivers en la parte norte de Australia (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 46).

C2. Areniscas

La mayoría de estos depósitos están contenidos en rocas depositadas bajo condiciones fluviales y condiciones marinas marginales. Areniscas lacustres también están mineralizadas, pero depósitos de uranio son menos comunes en estas rocas. Las areniscas son casi siempre medianas a gruesas ligeramente conformadas conteniendo piritita y material orgánico de origen vegetal. Los sedimentos son comunmente asociados con tobas. Depósitos no oxidados de éste tipo contienen pechblenda y cofinita en arcosita y arenisca quarsítica. En depósitos oxidados, minerales secundarios tales como autunita, gummita, carnotita, tuyamunita, y uranofane son formados.

Las areniscas terciarias, jurásicas, y triásicas de las montañas rocallosas de los EE. UU. son las áreas más productoras de uranio del país. Las areniscas cretácicas y pérmicas son importantes en la Argentina. Otros depósitos importantes de uranio son encontrados en areniscas carboníferas delticas en Nigeria; en rocas secundarias lacustres permicas en Francia; y en areniscas permicas de la region de los Alpes. Depósitos en areniscas marinas marginales del precámbrico en Gabón son también clasificados como yacimientos de areniscas (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C3. Conglomerados

Menas de uranio en conglomerados de cuarzo son restringidos a tiempos geológicos específicos. Dichas menas ocurren en camas no-conformantes basálticas del proterozoico inferior, ubicados encima de las rocas arqueanas compuestos de estratos graníticos y metamórficos. Depósitos

comerciales están localizados en Canadá y Sud Africa, y ocurrencias sub-económicas son reportados en Brazil e India (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C4. Vetas

Depósitos de uranio en vetas son aquellos en los cuales el uranio llena cavidades, fisuras, poros, brechas, y stockworks. Las dimensiones de las aberturas son de variado alcance, de vetas masivas de pechblenda en Sud Africa a vetas angostas de pechblenda relleno de fisuras y fallas en algunos yacimientos en Europa, Canadá, y Australia (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C5. Brechas Complejas

Depósitos de este grupo fueron desarrollados en el proterozoico continental durante los periodos anarogénicos. Las rocas madres incluyen felsita volcánica y rocas sedimentarias. La mineralización ocurre en secuencia de rocas inmediatamente sobrepuestas en granitos complejos. Las menas generalmente contienen dos fases de mineralización, primero en estratos y luego por enriquecimiento secundario. El principal depósito de este tipo es el Olympic Dam en el Sur de Australia. También pueden pertenecer a esta categoría los depósitos en Zambia, Zaire, y el Grupo Aillik en Labrador, Canadá (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C6. Intrusivos

Depósitos incluidos en este tipo de menas son aquellos asociados con intrusivos o rocas anatócticas de diferente composición química (alokita, granito, monzonita, sienita peralkalina, carbonatita, y pegmatita). Ejemplos de este tipo de yacimientos incluye Rössing en Namibia, ocurrencias de uranio en cobre porfirítico de Bingham Canyon y Twin Butte en los EE. UU., Ilimaussaq en Greenland, Phalaborwa en Sud Africa, y el área Bancroft en Canadá (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p.47).

C7. Fosfatos

Fosforitas sedimentarias contienen concentraciones bajas de uranio en apatitas de grano fino. Por ésta razón IAEA, el contenido de uranio lo considera como recurso unconventional. Ejemplos de este tipo de depósitos incluyen los fosfatos de Florida, EE. UU. donde el uranio es recuperado como sub-producto, y los largos depósitos en el Norte de Africa (Algeria) y países en el Medio Oriente (Israel y Jordania) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C8. Brecha-pipa Colapsada

Depósitos de éste grupo ocurren en columnas verticales y circulares rellenas con fragmentos derrumbados. Uranio es concentrado en la parte permeable de la brecha y en las zonas fracturadas de la pipa o columna. Ejemplos de éste tipo de depósitos existen en el “*Arizona Strip*” en el Oeste de los EE. UU. (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 47).

C9. Volcánicos

Depósitos de éste tipo tienen concentraciones de uranio en rocas volcánica-ácidas en estructuras estratificadas. Las rocas consisten en una serie piroclástica constituida por tobas e ignimbritas; el mineral primario es pechblenda, la que por alteración da origen a los minerales secundarios, gummitas, autunita, meta-autunita, urano-tilo, y cofinita. Ejemplos son los depósitos de uranio en Mitchelin, Canadá; Nopal I en Chihuahua, Mexico; Macusani en Puno, Perú; y numerosos depósitos en China y CIS (Rusia) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C10. Superficiales

Depósito uraníferos superficiales pueden ser ampliamente definidos como sedimentos uraníferos, usualmente del Terciario a una edad Reciente que no han sido sujetos a derrumbes/entierros profundos y que de algún modo hayan sido (tanto como no) calcificados. Los depósitos de uranio

asociados con calcretes, los que ocurren en Australia, Namibia, y Somalia en áreas semi-áridas donde el movimiento de agua por lo general es subterránea, son yacimientos superficiales. Adicionalmente, ambientes favorables para la deposición de uranio incluyen peat, cavernas karst, y rellenos estructurales en estratos geomorfológicos (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C11. Metasomáticos

Depósitos de uranio de éste tipo son alkali metasomáticos (albitas, aegirinitas, rocas alkali-amfibolitas) comunmente con intrusivos de granito microclino. Ejemplos de éste tipo de depósitos son Espinharas en Brasil; Ross Adams en Alaska, Estados Unidos; así como, el depósito Zheltye Vody en el área de Krivoy Rog en Ucrania (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C12. Metamórficos

Depósitos de uranio con ocurrencias en metasedimentos y/o metavolcánicos, generalmente no tienen evidencia directa de mineralización post-metamórfica. Ejemplos incluye los yacimientos de Forstau en Austria (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C13. Lignitos

Depósitos de éste tipo, generalmente son clasificados como recursos de uranio que ocurren en lignito, arcilla, y/o areniscas inmediatamente adyacentes a lignito. Ejemplos son los depósitos uraníferos de Serres Basin en Grecia, las Dakotas (Norte y Sur) en EE. UU., y Melovoe en CIS (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C14. Pizarras Negras

Concentraciones bajas de uranio ocurren en pizarras marinas carbonosas. También estos recursos son considerados no-convencionales. Ejemplos incluye las pizarras uraníferas en Suecia, las pizarras Chatanooga en EE. UU., y el depósito Chanziping en rocas argílicas-carbonosas-silicosas-pelíticas

en la Region Autónoma Guangxi de China, y el depósito de Gera-Ronneburg en la parte Este de la República Alemana (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

C15. Otros Depósitos

En éste grupo están incluidos aquellos depósitos que no pueden ser clasificados como uno de los 14 tipos de depósitos ya mencionados. Estos incluyen depósitos de uranio del Jurásico-Arenisca-Todilto, como los depósitos en el famoso Distrito Uranífero de Grants en el Estado de Nuevo Mexico, EE. UU. (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1999, p. 48).

En las mundialmente famosas minas Jackpile-Paguete son donde obtuve mis primeras experiencias profesionales en la industria del uranio. Es precisamente, en base a dicha experiencia y otras adicionales adquiridas en los Estados de Colorado, Texas, South Dakota, y Wyoming, he desarrollado modelos económicos para la explotación y concentración convencionales de uranio; los mismos que son incluidos en el Anexo I.

D. Recursos Conocidos (*Known Resources*)

Este grupo de recursos incluye ambos recursos razonablemente existentes (RARs) y estimados de recursos adicionales - Categoría I (EARs-I), recuperables a un costo menor que \$130/kg U (\$50/lb U₃O₈). Tablas 1 y 2, incluyen RARs y EARs-I estimados, respectivamente y reportados el 1 de enero de 1997. Las Tablas 1a y 2a muestran estimados realizados en los último 5 años (1992-96), las Tablas 1b y 2b incluyen estimados de recursos antes de los 5 años (1991). Algunos países como el Perú, India, Ucrania, y otros reportaron recursos "*in situ*," lo cual significa que no deducieron pérdidas debido a dilución y recuperación de planta. Las Tablas 1 y 2 muestran, por ejemplo, los recursos de uranio (RARs + EARs) recuperables a un costo menor de \$130/kg U, y ascienden a 4 millones y 229 mil toneladas métricas de uranio (4,299,000 tU, ó 4.3 x 10⁶ tU, ó 4.3 M tU).

Tabla 1.—Recursos Razonablemente Existentes a Nivel Mundial (en 1,000 tU, 1/1/97)
a.—Evaluación realizada entre los 5 último años (1992-96). NEA/IAEA

COUNTRY	Cost Ranges				
	≤ \$40/kgU	\$40-80/kgU	≤ \$80/kgU	\$80-130/kgU	≤ \$130/kgU
Argentina	NA	NA	4.62	4.22	8.84
Australia	NA	NA	622.00	93.00	715.00
Bulgaria (a) **	2.22	5.61	7.83	0	7.83
Canada	conf.	conf.	331.00	0	331.00
Czech Republic (b)	0	6.63	6.63	23.59	30.22
Finland (a)	0	0	0	1.50	1.50
France	NA	NA	13.46	8.90	22.36
Gabon	6.03	–	6.03	0	6.03
Germany	0	0	0	3.00	3.00
Greece *	1.00	–	1.00	–	1.00
Hungary (a)	0	0.37	0.37	0	0.37
India (a)	NA	NA	NA	NA	52.08
Indonesia (a) *	0	0	0	6.27	6.27
Kazakhstan (a)	323.34	115.88	439.22	162.04	601.26
Mongolia (a) **	10.60	51.00	61.60	0	61.60
Namibia	74.09	82.04	156.12	31.23	187.36
Niger	41.80	28.16	69.96	0	69.96
Peru (a)	–	–	1.79	0	1.79
Portugal	NA	NA	7.30	1.60	8.90
Romania	–	–	–	–	6.90
Russian Federation (a)	66.10	78.90	145.00	–	145.00
Slovenia	0	2.20	2.20	0	2.20
South Africa	110.50	107.80	218.30	51.50	269.80
Spain	NA	NA	4.65	7.51	12.16
Ukraine (a)	0	45.60	45.60	38.40	84.00
United States	NA	NA	110.00	251.00	361.00
Uzbekistan	66.21	0	66.21	17.49	83.70
Zimbabwe (a) *	NA	NA	1.80	NA	1.80
Sub total 1a (c)	> 701.89	> 524.19	2 322.70	701.25	3 082.93

b.—Evaluación no realizada antes de los 5 años (1991), no reportada en 1997, NEA/IAEA

Algeria (a) *	–	–	26.00	0	26.00
Brazil (a)	56.10	105.90	162.00	0	162.00
Central African Republic*	–	–	8.00	8.00	16.00
Denmark *	0	0	0	27.00	27.00
Italy *	–	–	4.80	0	4.80
Japan	–	–	–	6.60	6.60
Mexico (a) *	–	–	0	1.70	1.70
Somalia (a) *	–	–	0	6.60	6.60
Sweden	0	0	0	4.00	4.00
Turkey (a)	–	–	9.13	0	9.13
Vietnam	NA	NA	NA	1.34	1.34
Zaire (a) *	–	–	1.80	0	1.80
Sub total 1b (c)	56.10	105.90	211.73	55.24	266.97
Total (c)	> 757.99	> 630.09	2 534.43	756.49	3 349.90
Total adjusted (d)	> 666.00	> 555.00	2 340.00	718.00	3 220.00

– No resources reported.

NA = Data not available

conf. = Confidential.

(a) In situ resources.

(b) Mineable resources.

(c) Subtotal and totals related to cost ranges ≤\$40/kgU and \$40–80/kgU are higher than reported in the tables because certain countries do not report resource estimates, mainly for reasons of confidentiality.

(d) Adjusted to account for estimated mining and milling losses, not incorporated in certain estimates.

* Data from previous Red Book.

** Data from previous Red Book, depleted by past production.

Tabla 2.—Estimados de Recursos Adicionales a Nivel Mundial (EARs--en 1,000 tU, 1/1/97)
a.—Evaluación realizada entre los 5 último años (1992-96), NEA/IAEA

COUNTRY	Cost Ranges				
	≤ \$40/kgU	\$40-80/kgU	≤ \$80/kgU	\$80-130/kgU	≤ \$130/kgU
Argentina	NA	NA	0.90	2.21	3.11
Australia	NA	NA	136.00	44.00	180.00
Bulgaria (a) *	2.20	6.20	8.40	0	8.40
Canada	conf.	conf.	99.00	0	99.00
Czech Republic (b)	0	1.18	1.18	17.78	18.96
France	NA	NA	1.21	0.19	1.40
Gabon	1.00	0	1.00	—	1.00
Germany	0	0	0	4.00	4.00
Greece *	—	—	6.00	0	6.00
Hungary (a)	0	0	0	15.41	15.41
India (a)	NA	NA	NA	NA	24.25
Indonesia (a) *	—	—	—	1.67	1.67
Kazakhstan (a)	113.20	82.70	195.90	63.40	259.30
Mongolia (a) *	11.00	10.00	21.00	0	21.00
Namibia (a)	70.55	20.27	90.82	16.70	107.52
Niger	1.20	0	1.20	0	1.20
Peru (a)	—	—	1.86	0	1.86
Portugal (a)	—	—	1.45	0	1.45
Romania	—	—	—	—	8.95
Russian Federation (a)	17.20	19.30	36.50	—	36.50
Slovenia	—	—	5.00	5.00	10.00
South Africa	44.40	21.70	66.10	21.70	87.80
Spain	NA	NA	NA	NA	8.19
Ukraine (a)	0.00	17.00	17.00	30.00	47.00
Uzbekistan	39.36	0.00	39.36	7.14	46.50
Sub total 2a (c)	> 300.11	> 178.35	729.88	229.20	1 000.47

b.—Evaluación no realizada antes de los 5 años (1991), no reportada en 1997, NEA/IAEA

Algeria (a) *	—	—	0.70	1.00	1.70
Brazil (a)	NA	NA	100.20	0	100.20
Denmark *	—	—	0	16.00	16.00
Italy *	—	—	0	1.30	1.30
Mexico (a) *	—	—	0	0.70	0.70
Somalia (a) *	—	—	0	3.40	3.40
Sweden	0	0	0	6.00	6.00
Vietnam	NA	NA	0.49	6.25	6.74
Zaire (a) *	—	—	1.70	0	1.70
Sub total 2b (c)			103.09	34.65	137.74
Total (c)	> 300.11	> 178.35	832.97	263.85	1 138.21
Total adjusted (d)	> 257.00	> 158.00	745.00	244.00	1 079.00

— No resources reported.

NA = Data not available.

conf. = Confidential.

(a) In situ resources.

(b) Mineable resources.

(c) Subtotal and totals related to cost ranges ≤\$40/kgU and \$40–80/kgU are higher than reported in the tables because certain countries do not report resource estimates, mainly for reasons of confidentiality.

(d) Adjusted to account for estimated mining and milling losses, not incorporated in certain estimates.

* Data from previous Red Book.

La Figura 4A ilustra que la mayoría de los RARs están en Australia, Kazahstan, EE. UU., Canadá, y Sud Africa, incluyendo otros países como Namibia y Brasil. La Figura 4B representa EARs-I con similar distribución, incluyendo, Kazahstan, Australia, Namibia, Brasil, Canadá, y Sud Africa. Los recursos de ésta categoría, en los EE. UU., no están representados, porque tales recursos EARs-I + II son combinados en la categoría EARs.

E. Recursos No-Descubiertos (*Undiscovered Resources*)

Este grupo de recursos incluye los estimados de recursos adicionales - Categoría II (EARs-II) y recursos especulativos (SRs). Francia no reporta recursos SRs. La Tabla 3 muestra en detalle estimados reportados, el 1 de enero de 1997, por diferentes países. Los recursos EARs-II alcanzan a 2.3 M tU estimados a un costo recuperable hasta de \$130/kgU, 1.5 M tU a un costo menor de \$80/kgU, y al rededor de 285,000 tU a un costo menor de \$40/kgU. Information referente a los recursos SRs es incompleta a nivel mundial. Los países que reportaron éste tipo de recursos alcanzan a 4.5 M tU a un costo menor que \$130/kgU (Tabla 3).

F. Recursos No-Convencionales (*Unconventional Resources*)

Hay recursos de uranio, especialmente en el Estado de Florida, EE.UU., aquellos que se recuperan como sub-producto de fosfatos, dependiendo del mercado de fertilizantes. Otros países como Siria, Jordania, México, y Moroco también reportan cantidades significantes de uranio contenido en rocas fosfóricas. Uranio es también recuperado como sub-producto de cobre en India e EE. UU., y como co-producto de cobre en Australia. Muy bajas concentraciones de uranio existen en pizarras marinas y carbonitas. Palabora en Sud Africa producía uranio como sub-producto de carbonitas complejas.

Figura 4A.—Distribución de Recursos de Uranio--RARs por País

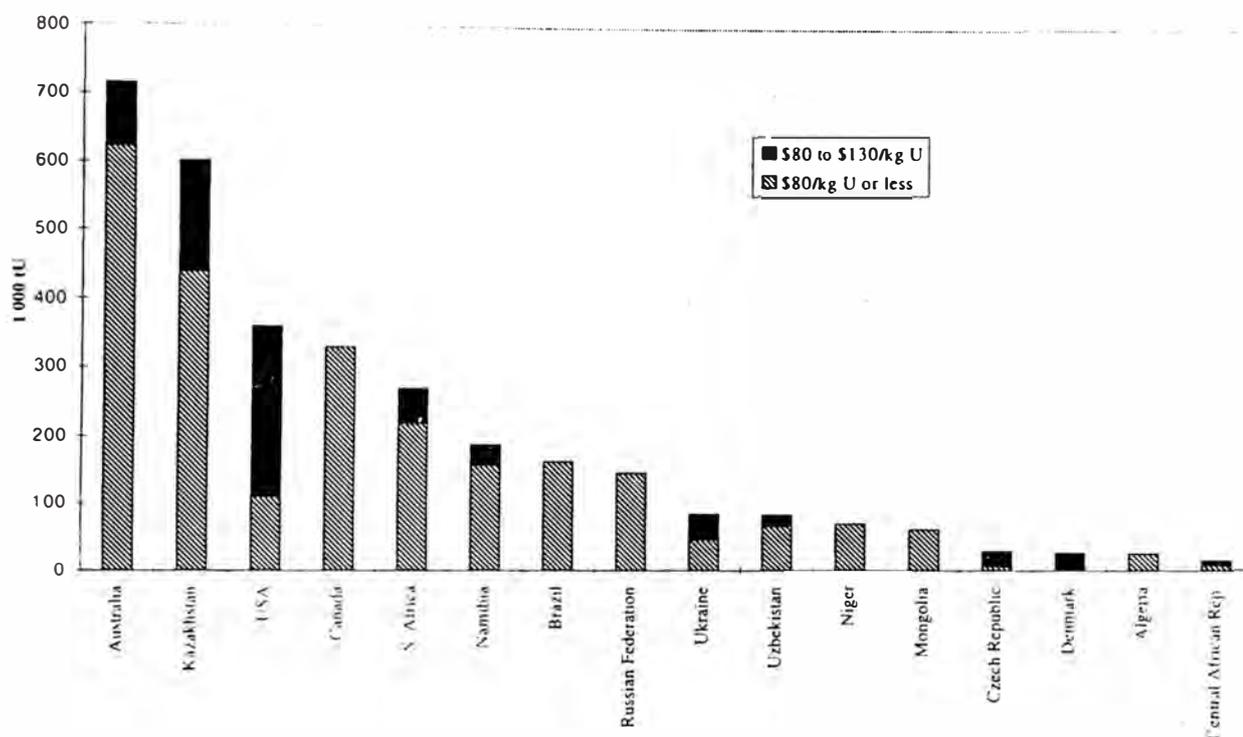
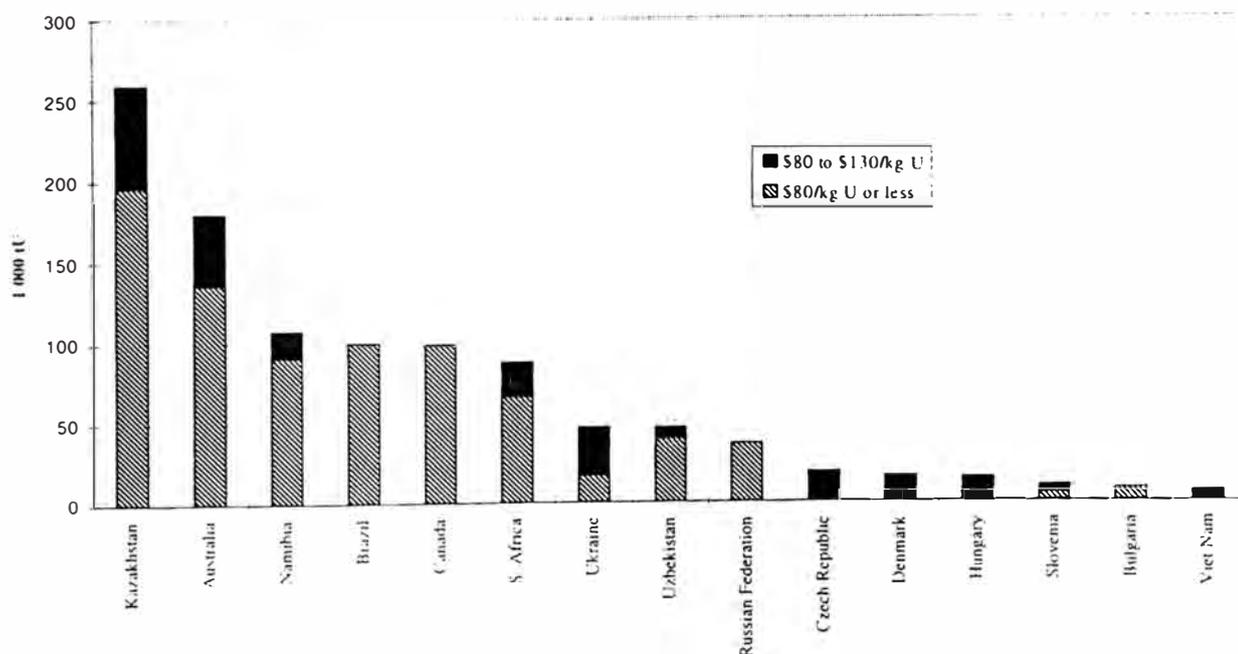


Figura 4B.—Distribución de Recursos Adicionales de Uranio--EARs-I por País



Fuente: *URANIUM*. 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

Tabla 3.—Recursos No-descubiertos: Adicionales—Categoría II y Especulativos (EARs-II y SRs, en 1,000 tU, 1/1/97)

COUNTRY	Estimated Additional Resources Category II			Speculative Resources		
	Cost Ranges			Cost Ranges		
	≤\$40/kgU	≤\$80/kgU	≤\$130/kgU	≤\$130/kgU	Cost Range Unassigned	TOTAL
Argentina	NA	0	1.10	NA	NA	NA
Brazil	0	120.00	120.00	0	500.00	500.00
Bulgaria (a)	2.24	2.24	2.24	16.00	–	16.00
Canada	conf.	(b) 50.00	(b) 150.00	700.00	–	700.00
China (a)	NA	NA	NA	–	1 770.00	1 770.00
Chile	–	–	NA	–	–	4.00
Colombia (a)	–	–	11.00	217.00	–	217.00
Czech Republic	0	5.48	8.48	0	179.00	179.00
Denmark	–	–	–	50.00	10.00	60.00
Egypt	–	–	–	–	15.00	15.00
Gabon	1.61	1.61	1.61	0	0	0
Germany	0	0	0	0	61.50	61.50
Greece (a)	0	6.00	6.00	0	0	0
Hungary	0	0	15.48	0	0	0
India	NA	NA	14.73	NA	NA	17.00
Iran (e)	NA	NA	NA	25.00	0	25.00
Italy (a)	–	–	–	–	10.00	10.00
Kazakhstan	200.00	290.00	310.00	500.00	0	500.00
Mexico (a)	–	–	2.70	–	10.00	10.00
Mongolia	0	0	0	1 390.00	–	1 390.00
Peru	–	6.61	20.00	20.00	6.00	26.00
Portugal (a)	–	1.50	1.50	1.50	NA	1.50
Romania	–	–	1.97	–	–	3.00
Russian Federation	–	56.30	104.50	550.00	450.00	1 000.00
Slovenia	–	–	1.06	–	–	–
South Africa	28.74	34.90	113.00	NA	1 113.50	1 113.50
Ukraine	NA	NA	10.00	NA	231.00	231.00
United States (c)	NA	839.00	1 270.00	858.00	482.00	1 340.00
Uzbekistan (d)	52.51	52.51	72.57	–	101.60	101.60
Venezuela (a)	–	–	–	–	–	163.00
Vietnam	NA	NA	5.70	100.00	130.00	230.00
Zambia	0	0	22.00	0	0	0
Zimbabwe (a)	0	0	0	25.00	0	25.00

* Undiscovered resources are generally reported as in situ resources.

– No resources reported.

NA = Data not available.

conf. = Confidential.

(a) Data from previous Red Book.

(b) Mineable resources.

(c) USA does not separate EAR as EAR-I and EAR-II.

(d) EAR-II and Speculative Resources are expressed as recoverable.

(e) Reported as recoverable at <\$100/kgU.

Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

IV. ACTIVIDADES OPERATIVAS DEL URANIO A NIVEL MUNDIAL

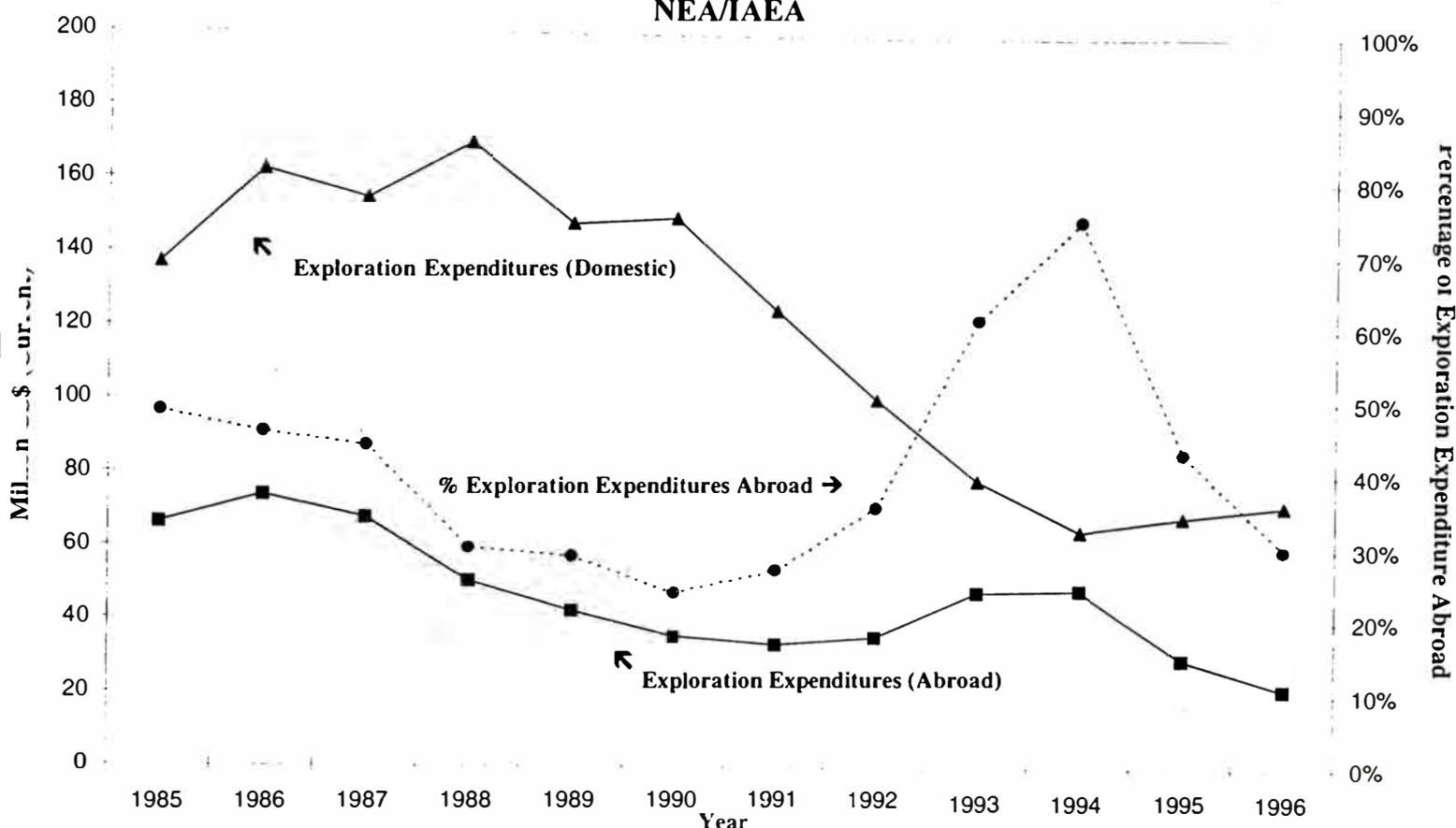
A. Actividades de Exploración

Desde 1985, los gastos de exploración han declinado paulatinamente. A fines de 1996, 54 países reportaron sobre las actividades de exploración para uranio. De los cuales, 24 países indicaron que no hubo exploración alguna en 1995 y 1996. En 1995, 26 países reportaron gastos del orden de 83 millones y seiscientos mil dólares (\$83.6 M) que fueron cerca de 12% más alto que en 1994 (\$74.7 M) y 2.7% menor que en 1996, los que alcanzaron a la suma de \$85.9 M y fueron reportados por 24 países (Figura 5). Por comparación, en 1986 los gastos por exploración alcanzaron a \$180 M.

Las exploraciones exteriores, por firmas Canadienses, Francesas, Alemanas, Japonesas, Coreanas, y Americanas, fuera de sus propios límites territoriales continúan. Pero, la cantidad de exploración en el exterior ha declinado de \$48.8 M en 1994 a \$21.5 M en 1996 (Tabla 4 y Figura 5). Este descenso es debido a que los gastos Franceses en exploraciones en el exterior disminuyó de \$31.0 M en 1994 a \$6.8 M en 1996; caso similar ocurrió con los gastos efectuados por Japón (Tabla 4).

La continuidad de este bajo nivel de exploración, dentro de la economía global, es debido a varios factores macroeconómicos y políticos. Principalmente, debido al ciclo bajo de precios y sobre todo a la inestabilidad reciente del mercado del uranio por la relativa abundancia actual de reservas y la incertidumbre creada por la venta de inventarios balísticos Rusos, la discontinuidad de licencias para operar reactores atómicos obsoletos y la cancelación y/o postergación de programas de construcción de nuevos reactores atómicos a nivel mundial. Sin embargo, la demanda por energía a largo plazo, uranio sería parte del suministro global de energía. Todo esto hace que la planificación para generar energía nuclear, a corto-mediano plazos y aún a largo plazo, sea sumamente compleja.

Figura 5.—Tendencias de Gastos de Exploraciones Para Uranio a Nivel Mundial, NEA/IAEA



Note: The USA did not report expenditures abroad in 1994, 1995 and 1996.

Tabla 4.—Gastos Exteriores (Abroad) de Exploraciones de Uranio a Nivel Mundial (\$ x 1,000 en el año que la exploración se realizó), NEA/IAEA

COUNTRY	Pre-1990	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997 (Expected)
Belgium	4 500	0	0	0	0	0	0	0	0
Canada	-	-	-	-	-	1 449	1 471	3 650	4 044
France	565 863	5 726	11 076	19 438	32 619	30 959	10 245	6 808	11 619
Germany (FRG)	372 800	6 766	4 853	2 898	3 107	2 646	2 951	3 111	4 358
Italy	NA	NA	200	-	-	-	-	-	-
Japan	307 791	10 990	11 210	12 010	11 620	12 923	14 771	7 533	4 801
Korea, Rep. of	21 317	158	177	260	225	175	178	373	895
Spain	20 400	0	0	0	0	0	0	0	0
Switzerland	26 906	600	540	482	502	627	0	0	0
United Kingdom	50 009	8 300	1 900	899	155	0	0	0	0
United States	228 770	0	0	0	0	W	NA	NA	NA
TOTAL	1 598 356	32 540	29 956	35 987	48 228	48 779	29 616	21 474	25 718

- No expenditures reported.

NA Data not available.

W Withheld to avoid disclosure of company specific data.

B. Producción de Uranio

La Tabla 5 ilustra la capacidad de producción mundial de 42,867 toneladas métricas (tU) de uranio en 1997 a 32,102 tU en 2015. La producción de uranio, a nivel mundial, aumentó a 36,195 tU en 1996 de 33,154 en 1995 (Figuras 6 y 7). La mena de uranio fué producida en 63 minas y concentrada en 44 plantas. El incremento en la producción durante 1995-96, después de 10 años de continuo decrecimiento, resultó debido al aumento de producción en Australia, Canadá, y CIS. Las mejoras de las condiciones de mercado en 1996 ayudaron ésta evolución. La Figura 6 muestra la producción anual de uranio en un poco más de las dos últimas décadas. Las observaciones siguientes son referidas a países que tienen mayor influencia en la producción y mercado de concentrados de uranio dentro de la economía global, y sobre todo tienen los mejores depósitos en el mundo.

En Australia, en 1996, la producción aumentó a 4,975 tU de 3,712 tU en 1995, la producción de capacidad fué incrementada en un 34%. Los principales productores fueron la mina Ranger de Energy Resources of Australia (ERA) con 3,509 tU y la mina Olympic Dam de Western Mining Corporation con 1,466 tU , ésta mina produce uranio como co-producto de cobre, oro, y plata.

Canadá se mantiene como líder mundial en la producción de uranio. En setiembre de 1988 se constituyó la firma CAMECO—Canadian Mining & Energy Corporation, el que controla casi el 50% de la producción del uranio Canadiense. La producción en 1996 (11,706 tU) aumentó en un 11.8% con respecto a 1995 (10,473 tU).

En los EE. UU., la producción de uranio en 1996 (2,431 tU) incrementó al rededor de 4.6% comparado con 1995 (2,324 tU). La producción por ISL ha incrementado notablemente.

Producción de uranio procedentes de los países Africanos, Gabon, Namibia, Nigeria, y Sud Africa contribuyeron con un 22% de la producción mundial en 1996. Ellos produjeron 7,772 tU en 1996,

Tabla 5.—Capacidad de Producción de Uranio a Nivel Mundial, 1997-2015 (\$80/kg U)
(in tU/year, from resources recoverable at costs up to \$80/kgU)

COUNTRY	1997		1998		2000		2005		2010		2015	
	A-II	B-II										
Argentina	120	120	120	120	120	120	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Australia	5 000	5 000	5 500	5 500	8 100	10 800	8 100	10 800	8 100	10 800	8 100	10 800
Belgium (a) (b)	45	45	NA									
Brazil (c)	0	0	0	300	500	500	0	1 360	0	1 360	0	1 360
Canada	12 950	12 950	14 250	16 250	8 500	17 900	0	13 500	0	13 500	0	11 200
China (b) (f)	740	740	740	840	740	1 040	740	1 040	740	2 400	740	3 200
Czech Republic	680	680	680	680	680	680	110	110	60	60	50	50
France	760	760	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0
Gabon (c)	587	587	540	540	540	540	0	0	0	0	0	0
Hungary	0	200	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
India (a) (b) (f)	220	220	220	220	220	246	220	286	220	391	220	508
Kazakhstan (c)	1 500	1 500	1 600	1 600	2 000	2 000	2 800	3 000	3 800	4 000	4 800	5 000
Mongolia (c)	150	150	150	250	150	500	150	1 100	150 (b)	1 100 (b)	150 (b)	1 100 (b)
Namibia	3 000	3 000	3 000	3 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000 (b)	4 000 (b)
Niger (c)	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800
Pakistan (b) (f)	30	30	30	30	30	65	30	65	30	65	30	50
Portugal	50	50	50	200	50	200	50	200	50	200	50 (b)	200 (b)
Romania (a) (b) (f)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	300	500
Russian Fed. (h)	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	6 000	3 500	10 000	3 500	10 000
South Africa (c) (d) (g)	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900	1 900
Spain	255	255	255	255	255	255	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ukraine (b) (f)	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	2 000	1 000	2 790	1 000	2 790
United States	4 230	4 230	4 932	5 220	5 816	7 489	3 662	8 835	2 354	6 335	462	1 231
Uzbekistan (c)	2 050	2 050	2 500	2 500	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Zimbabwe (e)	0	0	0	0	0	0	0	350	0	50	0	0
TOTAL	142 867	143 067	145 567	148 535	145 201	159 835	133 362	161 648	133 004	166 151	132 102	160 689

A-II Production Capability of Existing and Committed Centres supported by RAR and EAR-I recoverable resources.

B-II Production Capability of Existing, Committed, Planned and Prospective Centres supported by RAR and EAR-I recoverable resources.

NA Data not available

(a) From resources recoverable at costs of \$130/kgU or less.

(b) Secretariat estimate

(c) From resources recoverable at costs of \$40/kgU or less.

(d) OECD/NEA-IAEA, "Uranium 1993 - Resources, Production and Demand", OECD, Paris, 1994.

(e) OECD/NEA-IAEA, "Uranium 1991 - Resources, Production and Demand", OECD, Paris, 1992.

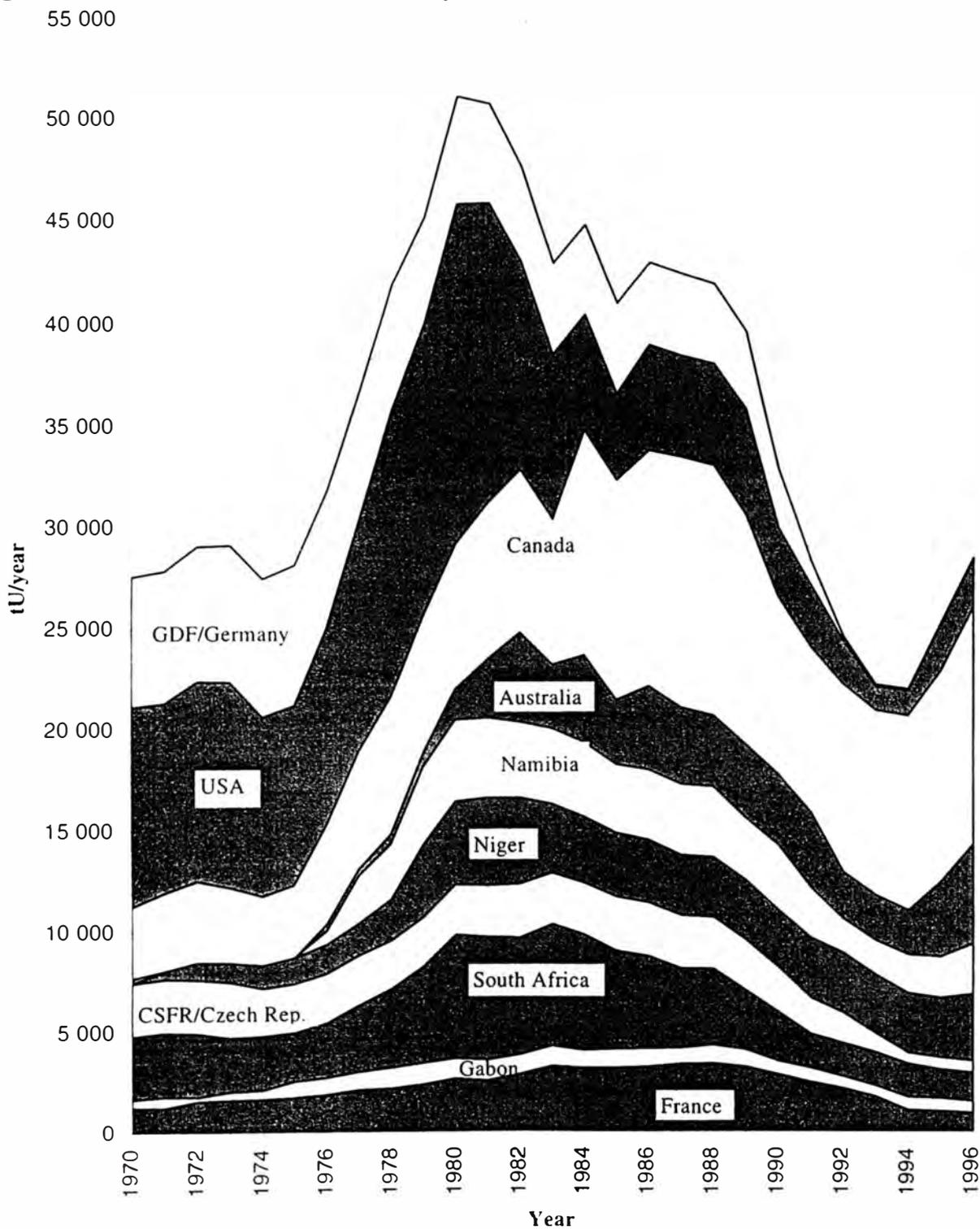
(f) Projections for China, India, Pakistan, Romania and Ukraine are based on the countries' stated plans to produce to meet domestic requirements. China also plans to meet existing export contracts.

(g) South Africa reports uranium production could decrease to 1 000 tU/year around 2 000 if market prices do not increase.

(h) The Russian Federation reports current capability of 3 500 tU, with planned expansion to 10 000 tU/year by 2010. Capability for other years are Secretariat estimates.

Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

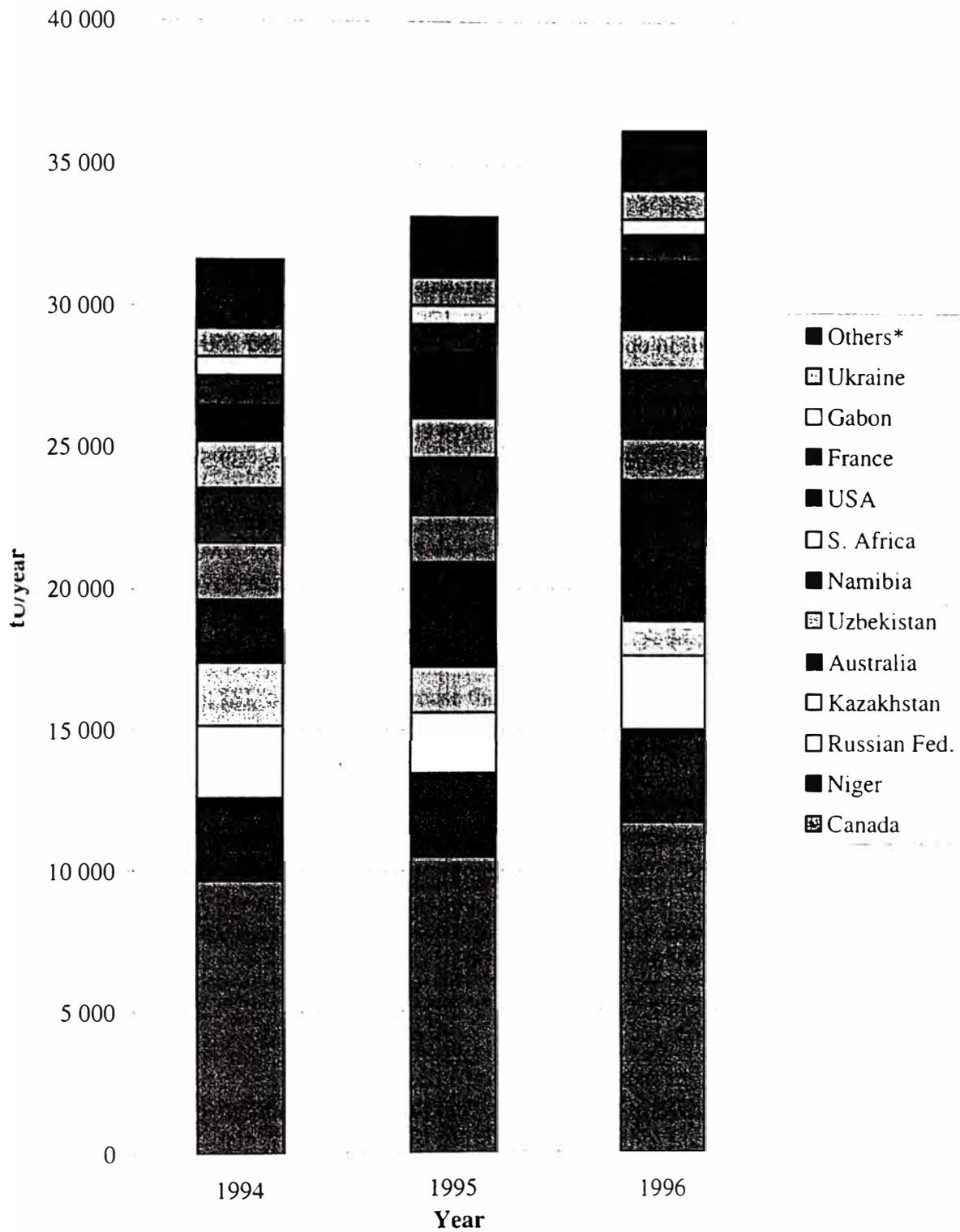
Figura 6.—Producción Histórica de Mayores Productores de Uranio a Nivel Mundial



Note: Graphical data is stacked.

Fuente: *URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA*

Figura 7.—Producción Reciente de Uranio a Nivel Mundial



* "Others" includes the remaining producers. Values for China, India and Pakistan in "Others" are estimated.

Fuente: URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

el que significa un incremento de 10% comparado con la producción de 1995.

En Latino América, el único país productor fué Argentina, cuya producción alcanzó a 28 tU en 1996, un 85% muy menor que la producción de 1995 (65 tU). Brasil cerró temporalmente la mina Poços de Caldas. El potencial del Brasil puede incrementar si la planta concentradora de Lagoa Real entra en producción a corto plazo.

C. Aspectos Ambientales y Seguridad por Radiación

Razones existen por estas medidas por cuanto, recientemente, hubo cierres de operaciones mineras por motivos económicos o las menas minables fueron agotadas, las mismas que deben ser rehabilitadas en conformidad con los códigos y reglamentos de medio ambiente existentes en cada país, donde el productor opera. En adición, aspectos de medio ambiente deben ser considerados en minas y concentradoras abandonadas cuando no existían provisiones legales adecuadas o suficientes para una política de decomisión y rehabilitamiento de tales facilidades. Los países desarrollados como EE. UU., Canadá, Alemania, Francia, y otros tienen leyes y reglamentos adecuados para proteger el medio ambiente, entonces los productores que operan en estos países tienen que adecuarse a las leyes ambientales existentes. Países del “tercer mundo,” también están adecuando sus leyes y reglamentos ambientales a aquellas existentes en países del “primer mundo.” Hoy en día y con frecuencia, existen conferencias relativas al medio ambiente, seguridad por radiación, y seguridad minera a nivel mundial. También existen programas de entrenamiento y transferencia de tecnología relevante a los temas señalados. Actualmente, para poner en operación nuevas facilidades de producción requieren mayores aprobaciones y controles de medio ambiente y seguridad por radiación. Un compendio sobre temas ambientales en extracción y concentración de uranio, a nivel mundial, esta siendo preparada por la OECD/NEA y IAEA en base a la información detallada

proveída por países miembros de NEA y IAEA (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 55).

D. Actividades de Mercado del Uranio

Es interesante mencionar las relaciones políticas y económicas y sus efectos en la demanda, oferta, precios en los mercados existentes, inventarios y requerimientos de uranio para los reactores LWR, fuente de energía nuclear. También cobran importancia, los efectos a largo plazo, de la disponibilidad, uso, y otros temas relevantes a los excedentes de inventarios balísticos tanto en los EE. UU. como en Rusia y la Unión Europea.

D1. Requerimientos de Uranio, Fuente de Energía Nuclear a Nivel Mundial

A pesar del decrecimiento substancial de la tendencia de producir energía nuclear en las décadas de 1970's y 1980's; sin embargo, existe una tendencia positiva a largo plazo. A comienzos de 1997, existen 442 unidades de reactores atómicos operando a nivel mundial con una capacidad neta de 353 gigawatios de electricidad (GWe). Las capacidades nucleares son proyectados de 373 GWe en 2000, y 402 GWe en 2005 a 395 GWe en 2015 (Tabla 6, Figuras 8 y 9) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 60-62). Esta tendencia es muy paralela a los requerimientos nucleares de uranio de 60,488 tU en 1996; 64,757 tU en 2000; 66,805 tU en 2005; y 62,542 tU en 2015, respectivamente (Tabla 7 y Figura 10) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 62-63).

La Tabla 7 muestra el esperado crecimiento de uranio requerido por año ("*uranium requirements*") hasta el año 2015, a corto-mediano plazos, con las proyecciones de la capacidad de producción (uranio proveniente de minas y concentradoras existentes, o que se van a construir, o facilidades planeadas para construir). Las proyecciones de capacidad de producción son sostenibles sólo con recursos uraníferos RARs y/o EARs-I recuperables a un costo de producción menores a \$130/kg U (\$50/lb U₃O₈).

Tabla 6.—Capacidad de Generación Nuclear hasta 2015 (MWe)

COUNTRY	1996	1997	2000	2005		2010		2015	
				Low	High	Low	High	Low	High
Argentina	940	940	940	600 a)	1 627 a)	1 292 a)	1 292 a)	1 292 a)	1 292 a)
Armenia	376 c)	376 a)	376 a)	0 a)	376 a)	0 a)	376 a)	0 a)	376 a)
Belarus	0	0 a)	600 a)	0 a)	600 a)				
Belgium	5 693	5 713	5 713	5 713	5 713	5 713	5 713	5 713	5 713
Brazil	626	626	1 871	1 871	1 871	3 110	3 110	1 871 a)	3 110 a)
Bulgaria	3 538 c)	3 538 a)	2 722 a)	2 314 a)	3 675 a)	1 906 a)	3 812 a)	1 906 a)	3 812 a)
Canada	16 000	16 000	16 000	16 000	16 000	15 000	15 000	13 000	13 000
China (d)	2 100	2 100	3 300	7 000	9 000	17 000	21 000	22 000	27 000
Croatia	0	0 a)	600 a)	0 a)	600 a)				
Cuba	0	0 a)	0 a)	0 a)	408 a)	0 a)	408 a)	0 a)	408 a)
Czech Rep	1 632	1 632	2 604	3 516	3 516	3 516	3 516	3 516	3 516
Egypt	0	0 a)	1 200 a)						
Finland	2 310	2 310	2 650	2 650	2 650	2 650	2 650	2 650	2 650
France	60 000	63 000	64 400	64 400	64 400	64 400	64 400	64 400	64 400
Germany	22 400	22 400	22 400	22 000	22 000	21 400 a)	21 400 a)	20 200 a)	23 600 a)
Hungary	1 760	1 760	1 760	1 760 a)	1 760 a)	1 729 a)	2 329 a)	1 299 a)	2 929 a)
India	1 695 c)	1 695 a)	1 897 a)	2 203 a)	2 953 a)	3 013 a)	5 463 a)	3 913 a)	6 813 a)
Indonesia	0	0 a)	1 500 a)	0 a)	4 200 a)				
Iran	0	0 a)	0 a)	950 a)	950 a)	950 a)	2 150 a)	950 a)	2 150 a)
Japan	42 712	45 248	45 600	54 138 a)	54 384 a)	70 500	70 500	70 500 a)	78 925 a)
Kazakhstan	70	70	70	2 070	2 070	6 870	6 870	6 870 a)	6 870 a)
Korea, DPR	0	0 a)	0 a)	0 a)	950 a)	1 900 a)	1 900 a)	1 900 a)	1 900 a)
Korea, Rep	9 600	10 300	13 700	18 700	18 700	26 300	26 300	26 300 a)	30 714 a)
Lithuania	2 760	2 760	2 760	2 760 a)	2 760 a)	2 760 a)	2 760 a)	1 185 a)	2 760 a)
Mexico	1 308	1 308	1 370	1 370	1 370	1 370	2 370	1 370	3 370
Morocco	0	0	0	0	0	0	0	0	600 a)
Netherlands	507	449	449	0 a)					
Pakistan	125 c)	125 a)	425 a)	425 a)	725 a)	425 a)	725 a)	300 a)	2 600 a)
Philippines	0	0	0	0	0	0 a)	1 800 a)	0 a)	1 800 a)
Poland	0	0 a)	1 200 a)						
Romania	650	650	650	1 950	1 950	2 560	3 250	3 250	3 250
Russia	19 843	19 843	22 668 a)	21 676 a)	23 226 a)	23 326 a)	26 226 a)	22 443 a)	26 143 a)
Slovak Rep	1 588	1 588	2 364	1 592	3 140	1 592	3 140	1 592	2 368
Slovenia	632 c)	632 a)							
South Africa	1 842	1 842	1 842	1 842	1 842	1 842	1 842	1 842	1 842
Spain	7 130	7 320	7 580	7 715	7 715	7 765	7 765	7 765	7 765
Sweden	10 000	10 000	9 400	8 800	8 800	8 800 a)	9 440 a)	6 918 a)	9 440 a)
Switzerland	3 055	3 117	3 179	3 179	3 179	3 179	3 179	3 179	3 179
Thailand	0	0 a)	1 000 a)	0 a)	2 000 a)				
Turkey	0	0	0	1 000	1 000	2 000	2 000	2 000 a)	3 400 a)
Ukraine	13 880	13 880	15 880	15 880	15 880	15 880	15 880	15 880 a)	18 161 a)
United Kingdom	12 800 b)	12 800 b)	12 100 b)	9 300 b)	9 300 b)	7 000 b)	7 000 b)	7 000 a)	9 785 a)
United States	100 600	100 600	100 500	100 500	100 500	93 500	100 500	63 700	100 500
Viet Nam	0	0	0	0	0	0	1 000 a)	0	2 000 a)
OECD TOTAL	297 507	303 957	309 405	207 418	221 075	234 825	244 062	225 510	262 886
WORLD TOTAL	353 056	359 506	372 686	391 890	402 406	427 254	461 282	394 720	500 957

(*) Capacity installed at end of year

(a) IAEA Secretariat estimate.

(b) OECD/NEA, *Nuclear Energy Data 1997*, Paris, 1997.

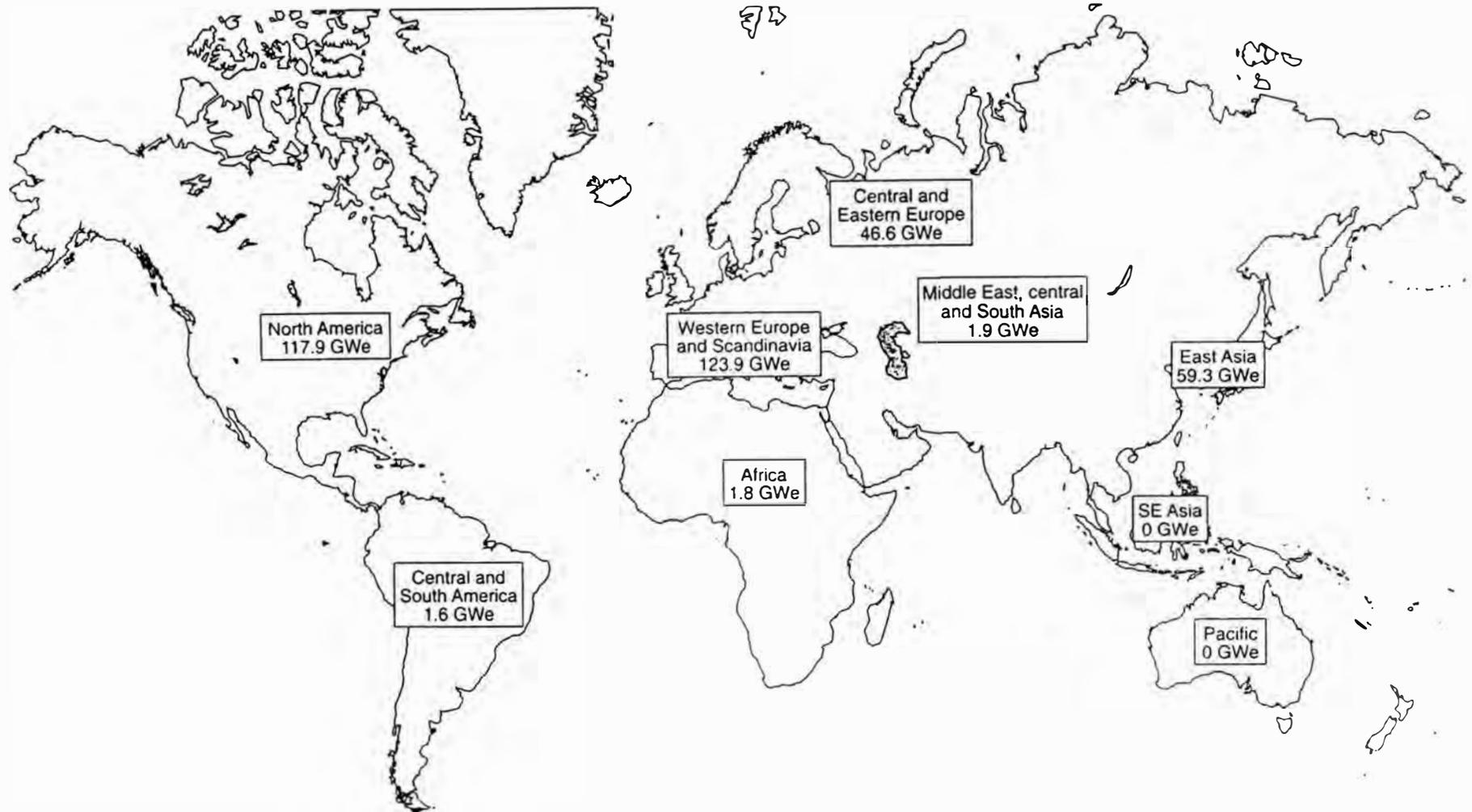
(c) IAEA, *Nuclear Power Reactors in the World*, RDS No.2, Vienna, 1997.

(d) The following data for Chinese Taipei are included in the World Total but not in the totals for China: 4 884 MWe until 2000,

7 584 MWe until 2015 for low case, and 7384, 9884 and 12 384 for high case until 2005, 2010 and 2015, respectively.

Fuente: *URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand*. A Joint Report by NEA/IAEA

Figura 8.—Capacidad de Generación Nuclear a Nivel Mundial: 353 GWe (1/1/97)



Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

figura 9.—Capacidad Instalada de Generación Nuclear por Regiones: 353 GWe (1/1/97)

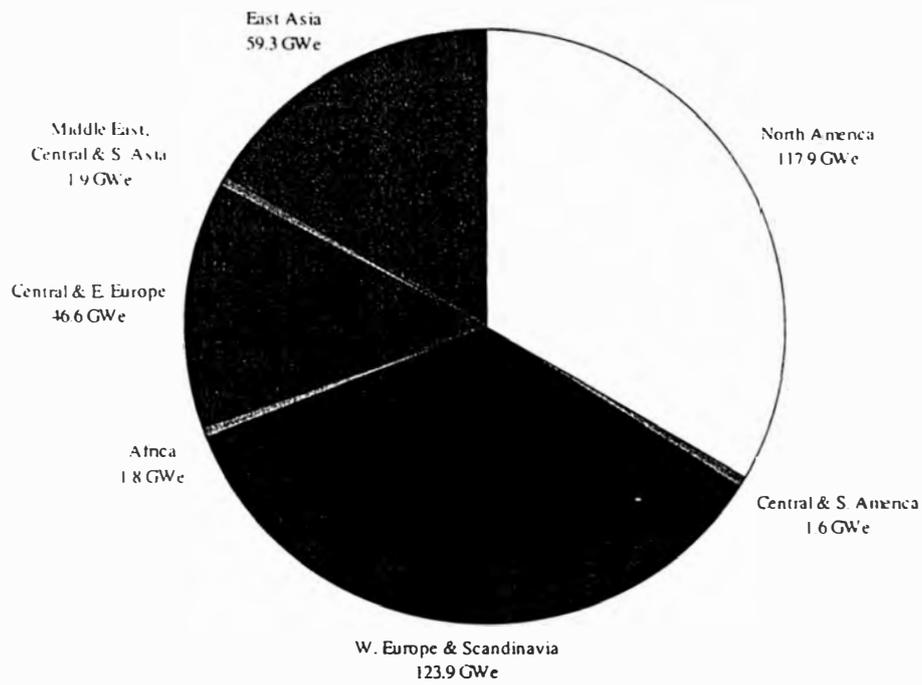
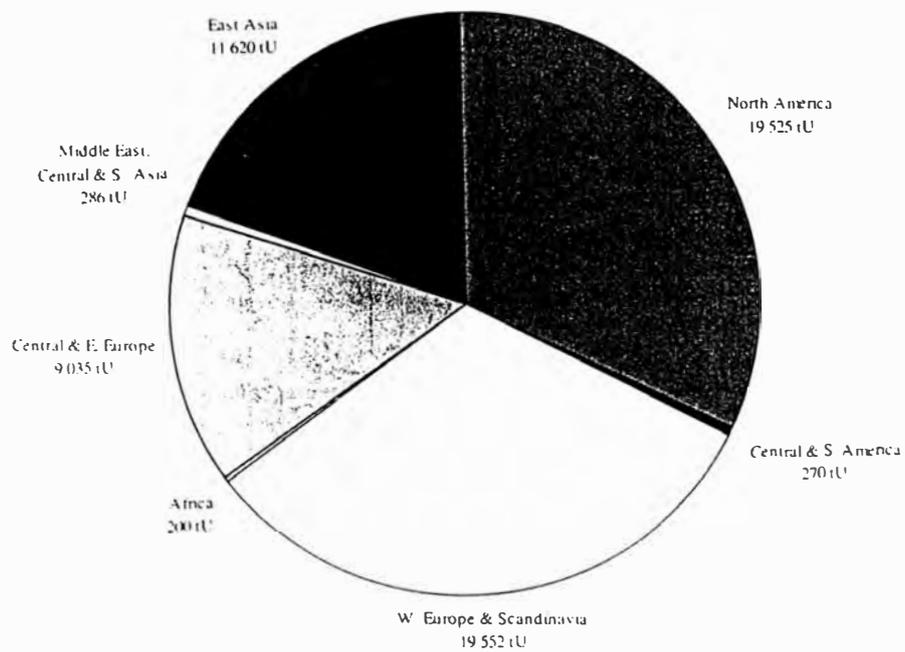


Figura 10.—Requerimientos de Uranio a Nivel Mundial por Regiones (1/1/97)



Fuente: *URANIUM*. 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

Tabla 7.—Requerimiento Anual de Uranio Para Reactores Atómicos Hasta 2015 (tU)

COUNTRY	1996	1997	2000	2005		2010		2015	
				Low	High	Low	High	Low	High
Argentina	150	150	150	96 a)	260 a)	206 a)	206 a)	206 a)	206 a)
Armenia	89 a)	89 a)	89 a)	0 a)	89 a)	0 a)	89 a)	0 a)	89 a)
Belarus	0	0 a)	93 a)	0 a)	93 a)				
Belgium	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050
Brazil	120	120	680	370	370	620	620	620 a)	620 a)
Bulgaria	844 a)	844 a)	649 a)	522 a)	876 a)	454 a)	909 a)	454 a)	3 812 a)
Canada	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
China (c)	300	300	600	900	1 500	2 400	3 000	3 200	4 000
Croatia	0	0 a)	93 a)	0 a)	93 a)				
Cuba	0	0 a)	0 a)	0 a)	90 a)	0 a)	90 a)	0 a)	90 a)
Czech Rep.	370	370	525	700	700	700	700	700	700
Egypt	0	0 a)	200 a)						
Finland	495	496	557	548	548	545	545	545	545
France	8 900	8 600	8 600	8 500	8 500	8 500	8 500	8 500	8 500
Germany	3 200	2 900	3 000	2 500	2 500	2 432 a)	2 432 a)	2 295 a)	2 682 a)
Hungary	415	415	420	420 a)	420 a)	413 a)	556 a)	310 a)	699 a)
India	220 a)	220 a)	246 a)	286 a)	383 a)	391 a)	709 a)	508 a)	884 a)
Indonesia	0	0 a)	248 a)	0 a)	693 a)				
Iran	0	0 a)	0 a)	141 a)	141 a)	141 a)	318 a)	141 a)	318 a)
Japan	8 700	7 500	9 700	11 800	11 800	13 000	13 000	14 000	14 000
Kazakhstan	50	50	50	450	450	1 050	1 050	1 050 a)	1 050 a)
Korea, DPR	0	0 a)	0 a)	0 a)	157 a)	314 a)	314 a)	314 a)	314 a)
Korea, Rep.	1 810	2 760	2 890	3 010	3 010	4 290	4 290	4 290 a)	5 010 a)
Lithuania	385	415	425	425 a)	425 a)	425 a)	425 a)	182 a)	425 a)
Mexico	325	170	257	215	215	253	582	216	749
Morocco	0	0	0	0	0	0	0	0	100 a)
Netherlands	93	74	84	0 a)					
Pakistan	16 a)	16 a)	65 a)	65 a)	115 a)	65 a)	115 a)	50 a)	442 a)
Philippines	0	0	0	0	0	0 a)	309 a)	0 a)	309 a)
Poland	0	0 a)	200 a)						
Romania	100	100	100	300	300	400	500	500	500
Russia	3 800	3 800	4 341 a)	4 151 a)	4 448 a)	4 467 a)	5 022 a)	4 298 a)	5 006 a)
Slovak Rep.	440	770	495	330	660	330	660	330	495
Slovenia	102 a)								
South Africa	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Spain	1 155	1 075	1 240	1 470	1 470	1 470	1 470	1 470	1 470
Sweden	1 500	1 500	1 500	1 400	1 400	1 400 a)	1 500 a)	1 038 a)	1 500 a)
Switzerland	537	499	479	470	470	470	470	581	581
Thailand	0	0 a)	170 a)	0 a)	340 a)				
Turkey	0	0	0	210	210	420	420	420 a)	714 a)
Ukraine	2 490	2 640	2 820	2 890	2 890	2 790	2 790	2 790 a)	3 191 a)
United Kingdom	2 622 (b)	2 622 (b)	2 500 (b)	1 764 (b)	1 764 (b)	1 262 (b)	1 262 (b)	1 262 a)	1 764 a)
United States	17 400	21 300	18 100	19 100	19 500	18 000	19 400	8 500	15 800
Viet Nam	0	0	0	0	0	0	210 a)	0	420 a)
OECD TOTAL	50 672	53 181	52 702	54 957	55 357	56 005	57 977	46 972	57 564
WORLD TOTAL	60 488	63 757	64 524	66 805	69 433	70 980	77 039	67 542	82 796

(a) Secretariat estimate.

(b) OECD/NEA, *Nuclear Energy Data 1997*, Paris, 1997.

(c) The following data for Chinese Taipei are included in the World Total but not in the totals for China: 810 tU/year until 2000, 620 tU/year until 2015 for low case, and 620, 830 and 1 040 tU/year for high case until 2005, 2010 and 2015, respectively.

Fuente: *URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand*. A Joint Report by NEA/IAEA

En cambio, la Figura 11 ilustra la comparación de los requerimientos de uranio con las capacidades de producción, a largo plazo, hasta el año 2030. Sin embargo, ésta comparación es hecha basada en dos posibles estrategias no exclusivas. La primera, usando reactores atómicos tipo LWR con una mezcla moderada de uranio y plutonio hasta el año 2020. La segunda, usando reactores LMFBR después del año 2020.

D2. Correlaciones de Oferta y Demanda

El mercado mundial del uranio—fuente de energía nuclear, ha experimentado cambios dramáticos en ésta decada por causas primordialmente, políticas y económicas, tanto en los países productores como consumidores de uranio.

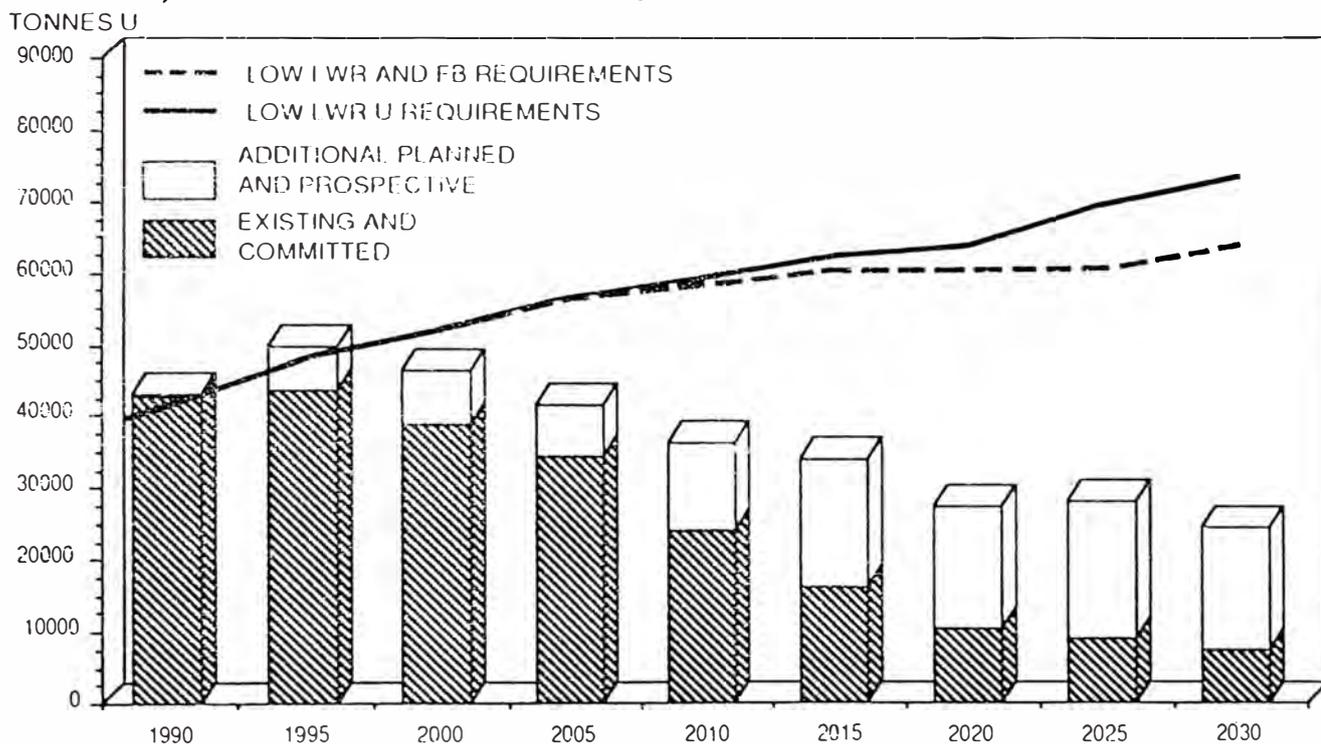
Durante la producción comercial de energía nuclear, a nivel mundial, en los 1960s y a mediados de los 1980s, el mercado del uranio se caracterizó por exceso de producción. Sin embargo, los requerimientos futuros de uranio, para los reactores atómicos, son cada vez mayores en la decada de los 1990s y el próximo milenio (Figura 12) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 70).

Los cambios políticos y económicos en la que fuera la Unión Soviética a comienzos de los 1990s, ocasionaron cambios irreversibles en el mercado. Así como también, a consecuencia de la terminación de la “guerra fría,” entre los Hemisferios del Este y Oeste, se facilita la disponibilidad y venta de uranio barato en mercado mundial por parte de CIS, Kazakhstan, Ucrania, y Uzbekistan.

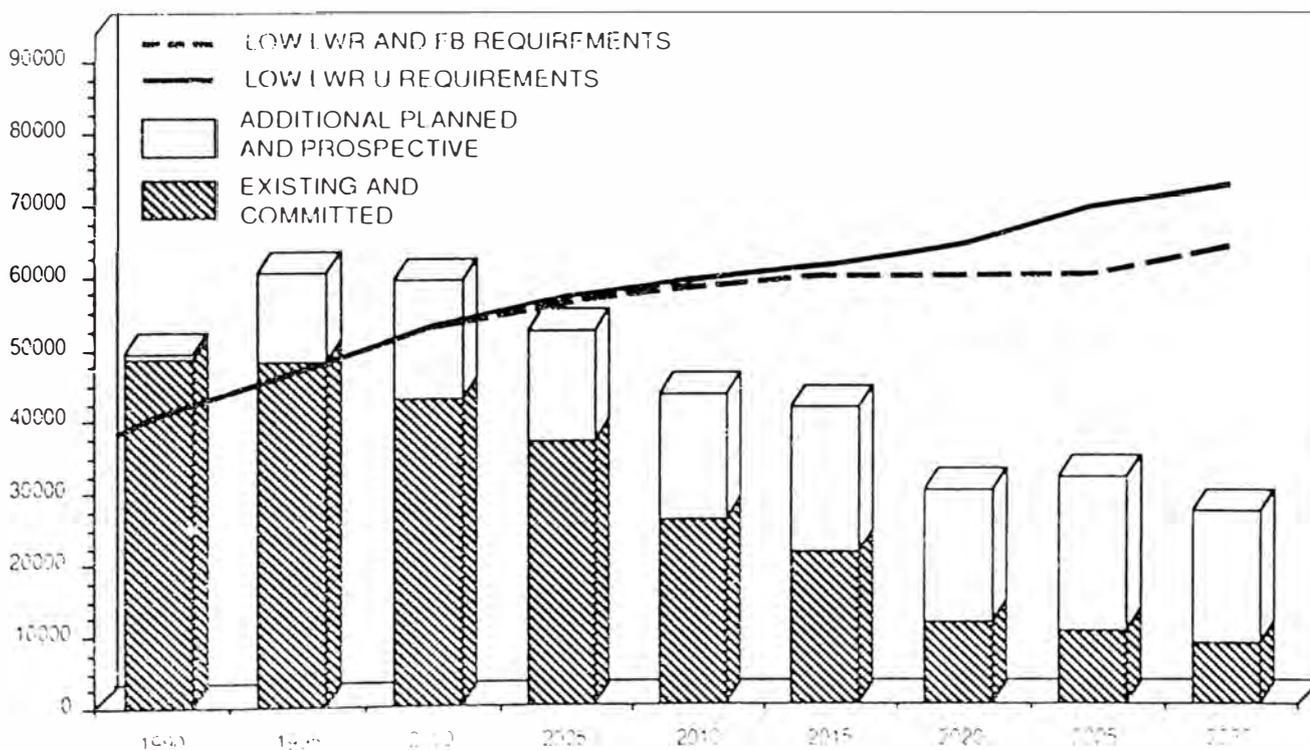
También existen incertidumbres, que afectan a productores y consumidores a nivel mundial, debido a decisiones políticas, como la conversión de uranio altamente enriquecido (HEU) para usos balísticos a uranio bajamente enriquecido (LEU) para uso comercial, y la venta de uranio por parte de los EE. UU. de los inventarios gubernamentales.

En 1996, 23 naciones produjeron el 90% del uranio, de los cuales los 10 mayores productores

Figura 11.—Producción y Requerimientos de Uranio a Largo Plazo
A) Sostenibles con Recursos Recuperables con Costos Menores de \$80/kg U

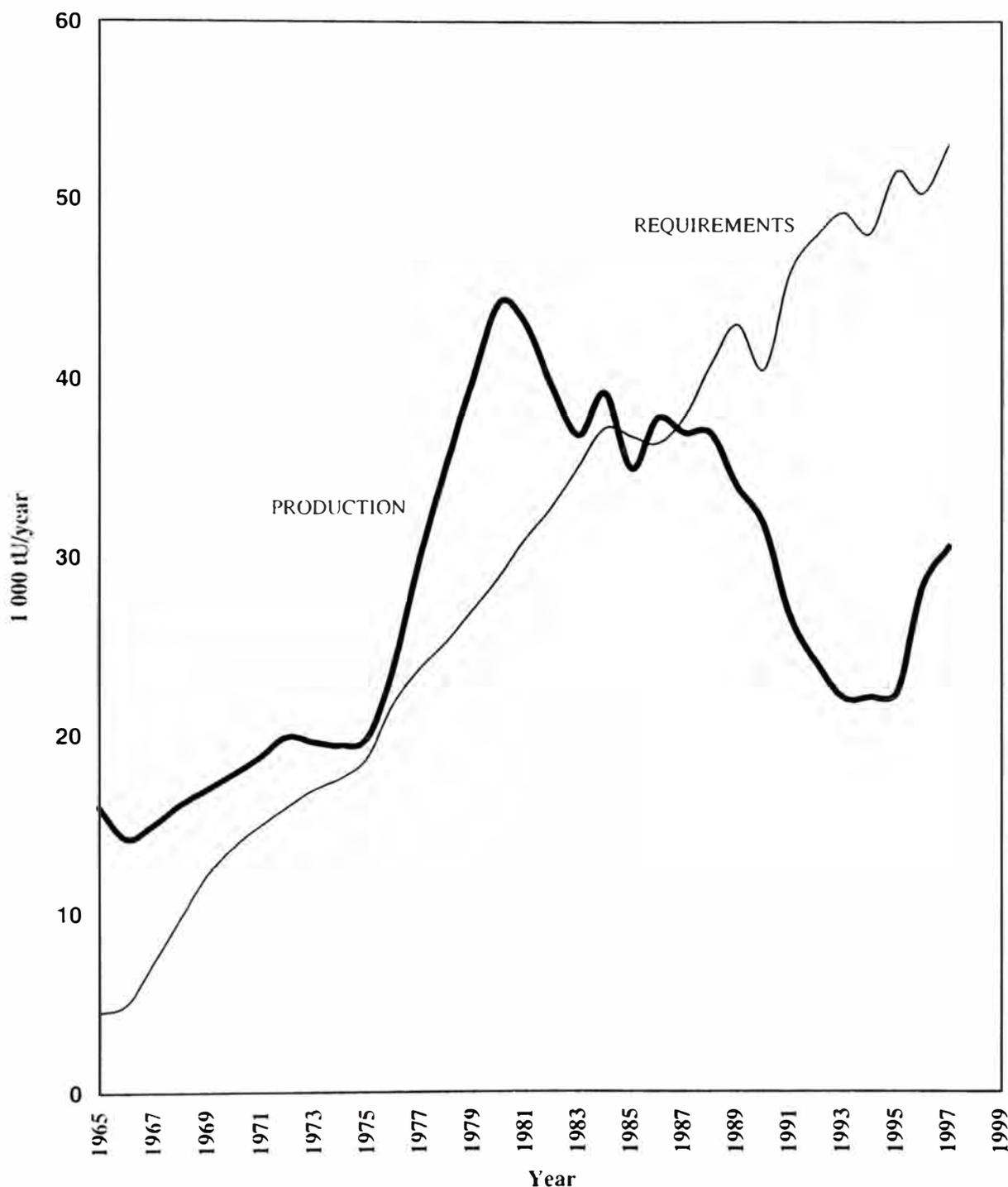


B) Sostenibles con Recursos Recuperables con Costos Menores de \$130/kg U



Fuente: URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

Figura 12.—Producción y Requerimientos Históricos de Uranio en Países Selectos*



* Excludes the following countries because detailed information is not available: Bulgaria, China, Cuba, Czech Republic (and preceding states), GDR, Hungary, Kazakhstan, Mongolia, Romania, Russian Federation, Slovenia, Tajikistan, Ukraine, USSR, Uzbekistan, and Yugoslavia.

1997 production values are estimated.

Fuente: *URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA*

fueron, en orden alfabético, Australia, Canadá, EE. UU., Kazakhsan, Namibia, Nigeria, Federación Rusa (CIS), Sud Africa, Ucrania, y Uzbekistan.

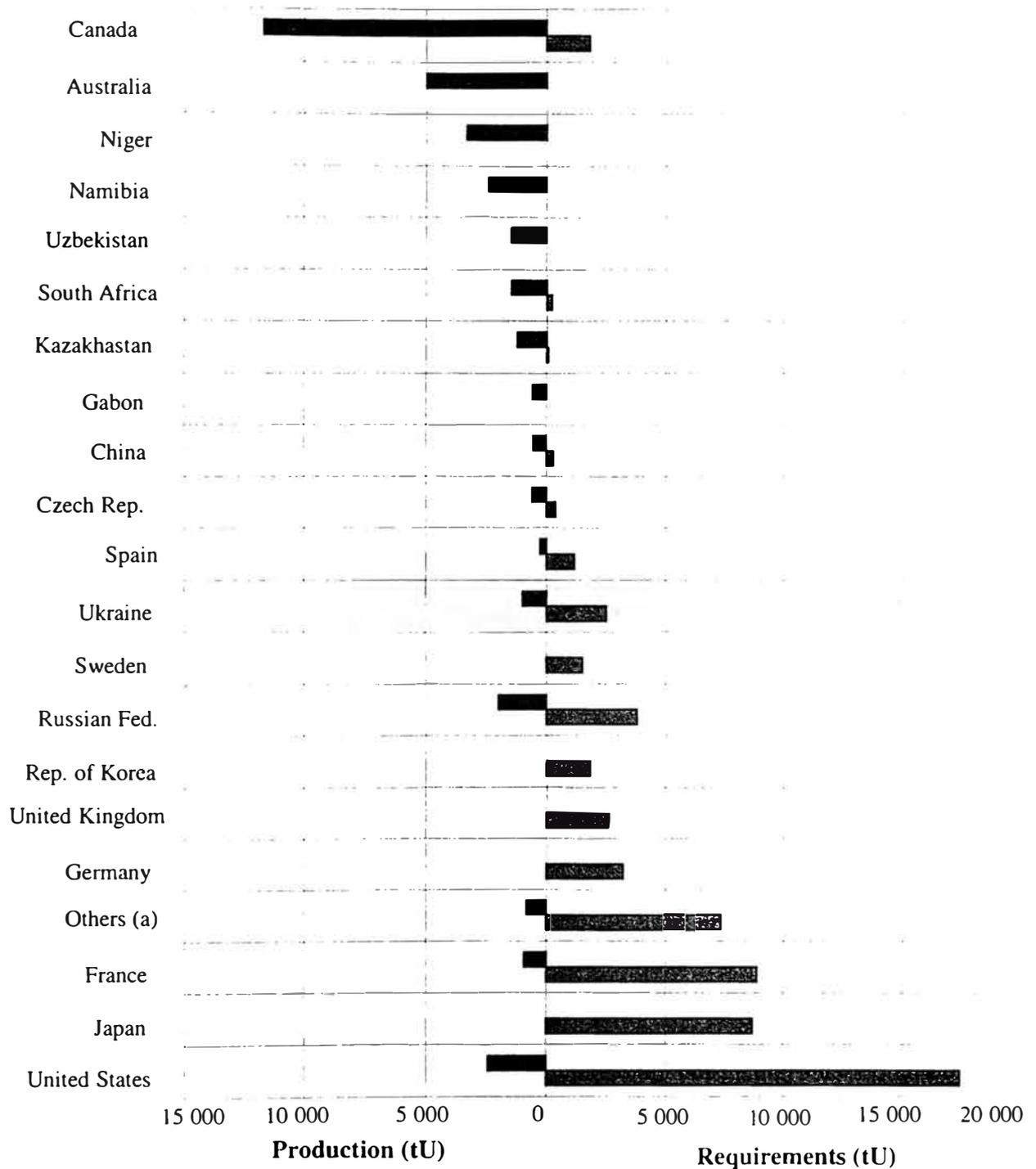
En comparación, 30 países consumieron uranio en reactores comerciales, existiendo no correlación ni distribución paralela entre países productores y países que tienen requerimientos o necesidades de uranio (Figura 13) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 73). En 1996, la producción mundial de uranio alcanzó a 36,195 tU abasteciendo 60% de los requerimientos o necesidades de 60,488 tU por parte de los reactores, a nivel mundial.

D3. Inventarios y Desarrollo de Precios

Durante el periodo de los 1990s, el exceso de inventario acumulado fué estimado en 140,000 tU. Sin embargo, este volumen no incluye inventarios militares y es substancialmente alto para los requerimientos de por lo menos dos años. Además, en el periodo 1988-94, hubo un exceso de producción sobre requerimientos de 53,000 tU (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 72).

En los 1980s, el precio de mercado abierto promedio declinó ligeramente para las transacciones de término medio y largo plazo; sin embargo, para los precios “*spot market*” la tendencia a declinar es un poco más alto. En 1988, los precios correspondientes fueron \$82.70/kgU (\$31.80/lb U₃O₈) y \$49.50/kgU (\$19.00/lb U₃O₈). Los promedios de precios “*spot market*” para 1987 y 1988 son basados en las cotizaciones de Nuexco Exchange Value, los que fueron \$43.60/kg U (\$16.80/lb U₃O₈) y \$37.80/kgU (\$9.80/lb U₃O₈), respectivamente. Desde setiembre de 1996, sin embargo, las tendencias de baja de los precios fueron precipitosos a \$23.92/kgU (\$9.20/lb U₃O₈) y \$26.52/kgU (\$10.20/lb U₃O₈) en agosto 31, 1997 (Figura 14) (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 82). Desde 1992, los precios “*spot market*” tienen valores más complejos (restringidos y no restringidos), son reportados en Tabla 8 para 1996 y 1997 (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 83).

Figura 13.—Correlación de Producción de Uranio y Requerimientos de Reactores en 1996

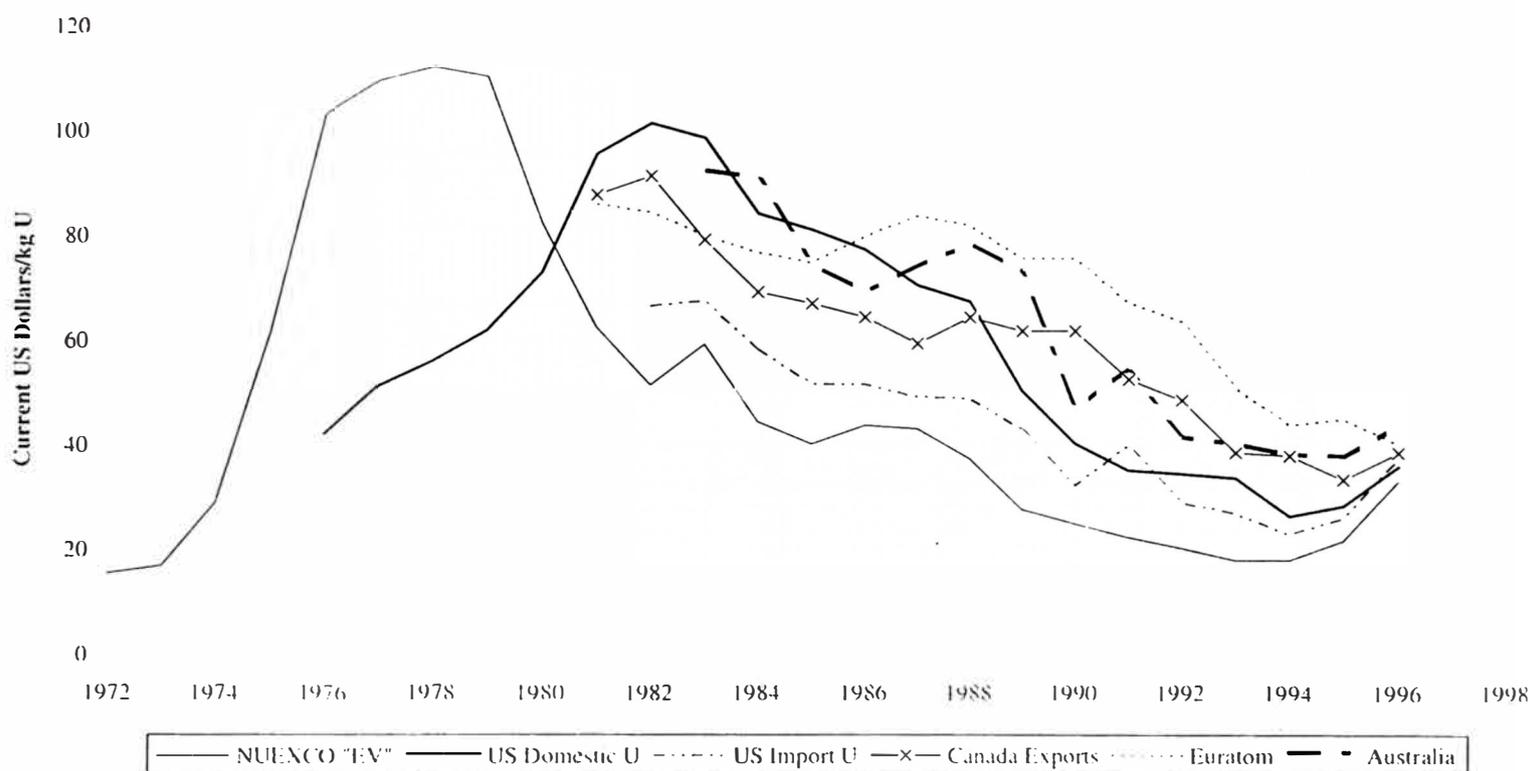


(a) "Others" producers include: Argentina, Belgium, Hungary, India, Pakistan, Portugal, Romania.

"Others" consumers include: Argentina, Armenia, Belgium, Brazil, Bulgaria, Finland, Hungary, India, Lithuania, Mexico, the Netherlands, Pakistan, Romania, Slovak Republic, Switzerland.

Fuente: URANIUM, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

Figura 14.—Desarrollo Histórico de Precios de Uranio, 1972-1996



Notes:

- 1) NUENCO Prices refer to the "Exchange Value". The values for 1992-1996 refer to the unrestricted market.
- 2) Euratom prices refer to multiannual contracts.

Sources: NUENCO (TradeTech), EIA, Nukem and Euratom, Canada and Australia.

Tabla 8.—Precios Promedio de Uranio en el "Spot Market" (\$/kgU ó \$/lb U₃O₈)

	1996	Last quarter 1996	First half 1997
UNRESTRICTED MARKET VALUE			
Nukem Uranium Spot Price	36.71 (14.12)	38.58 (14.84)	31.38 (12.07)
TradeTech Exchange Value	36.89 (14.19)	37.31 (14.35)	30.01 (11.54)
RESTRICTED MARKET VALUE			
Nukem Uranium Spot Price	40.07 (15.41)	39.55 (15.21)	33.57 (12.91)
TradeTech Exchange Value	40.51 (15.58)	39.00 (15.00)	32.46 (12.48)

Fuente: *URANIUM*, 1997: Resources, Production and Demand. A Joint Report by NEA/IAEA

V. LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LOS ESTADOS UNIDOS

En 1998, las diversas actividades de la industria del uranio en los EE.UU. fueron menores que en 1997. El desembolso por razones de perforaciones para exploración y desarrollo, y otros gastos como adquisición de derechos de exploración, denuncios mineros patentados y no patentados, y opciones de compra de terrenos mineralizados están representados en la Tabla 9a.—*Exploration and Development*, 1989-1998 y Figura 15a, los mismos que alcanzaron a \$21.7 millones. En 1998, la producción de uranio se ha mantenido casi al mismo nivel de 1997, siendo de 4.8 Mlb de U_3O_8 ó 1,800 tU (Tabla 9a.—*Mine Production of Uranium*, 1989-1998 y Figura 15b). La producción de concentrados disminuyó en 1998, a 4.7 Mlb de 5.6 Mlb U_3O_8 , comparada con el año anterior (Tabla 9a.—*Uranium Concentrate Production*, 1989-1998 y Figura 15c), [U.S. Department of Energy's Office of Energy Information Administration, DOE/EIA-0478 (98) p. 3].

A. Actividades de Exploración y Desarrollo de Uranio

Entre 1947 y 1970, el gobierno Americano, por intermedio de la Agencia AEC (*U.S. Atomic Energy Commission*), promovió el sector privado de la industria del uranio. Exploración realizada por el sector privado incrementó rápidamente en la década de los 1970's. De 1966 a 1982, la perforación diamantina alcanzó a 116,400 km. De 1983 a 1997, la industria completó 9,860 km adicionales de perforación superficial. Exploración fué conducida principalmente en areniscas del Distrito de Grants y Uravan en la Región del “*Colorado Plateau*,” en los Basins de Wyoming, y el Golfo Costal de Texas. Depósitos en veta fueron desarrollados en el Frente Range de Colorado, cerca de Marysvale en Utah, y en la parte norteste del Estado de Washington. Desde 1980, largos yacimientos en areniscas fueron minados en el noroeste de Nebraska, y uranio de alto contenido en estructuras-brecha-pipa en la parte norte del Estado de Arizona.

Tabla 9.—Sumario Estadístico Operativo de la Industria del Uranio en EE.UU
a.—Exploración, Reservas, Producción, y Entregas de Uranio, 1989-1998

Items	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Exploration and Development										
Surface Drilling (million feet)	2.2	1.7	1.8	1.1	1.1	0.7	1.3	3.0	4.9	4.6
(million meters)	0.7	0.5	0.6	0.3	0.3	0.2	0.4	0.9	1.5	1.4
Expenditures ^a (million dollars).....	14.8	17.1	17.8	14.5	11.3	3.7	6.0	10.1	30.4	21.7
Reserves at End of Year										
(million pounds U ₃ O ₈)										
\$US30 per pound)	277	265	304	295	292	294	290	285	281	276
(thousand metric tons U, \$US80 per kilogram)	107	102	117	114	112	113	112	110	108	106
Mine Production of Uranium										
(million pounds U ₃ O ₈)	9.7	5.9	5.2	1.0	2.1	2.5	3.5	4.7	4.7	4.8
(thousand metric tons U)	3.7	2.3	2.0	0.4	0.8	1.0	1.4	1.8	1.8	1.8
Uranium Concentrate Production										
(million pounds U ₃ O ₈)	13.8	8.9	8.0	5.6	3.1	3.4	6.0	6.3	5.6	4.7
(thousand metric tons U)	5.3	3.4	3.1	2.2	1.2	1.3	2.3	2.4	2.2	1.8
Uranium Concentrate Shipments										
(million pounds U ₃ O ₈)	14.8	13.0	8.4	6.9	3.4	6.3	5.5	6.0	5.8	4.9
(thousand metric tons U)	5.7	5.0	3.2	2.6	1.3	2.4	2.1	2.3	2.2	1.9
Employment (person-years expended) ...	1,583	1,335	1,016	682	871	980	1,107	1,118	1,097	1,120

^aExpenditures are in nominal U.S. dollars.

Note: Specific references for each category of data and year are provided in various detailed text or tables included in the main body of this report. For 1993 through 1998, total employment includes reclamation employment.

Sources: Energy Information Administration: 1989-1997-Uranium Industry Annual 1997 (April 1998); 1998-Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

b.—Transacciones de Uranio en EE.UU, 1995-1998

Actual Deliveries	1995		1996		1997		1998	
	Quantity	Weighted-Average Price						
Purchases by U.S. Brokers and Traders								
(million pounds U ₃ O ₈ e; dollars per pound U ₃ O ₈ e)	22.9	9.53	25.3	12.61	19.7	11.00	24.4	11.10
(thousand metric tons U; dollars per kilogram U)	8.8	24.79	9.7	32.79	7.6	28.60	9.4	28.87
Purchases by U.S. Utilities								
(million pounds U ₃ O ₈ e; dollars per pound U ₃ O ₈ e)	43.4	11.25	47.3	14.12	42.0	12.88	42.7	12.14
(thousand metric tons U; dollars per kilogram U)	16.7	29.24	18.2	36.71	16.1	33.49	16.4	31.55
Foreign Purchases by U.S. Suppliers and Utilities								
(million pounds U ₃ O ₈ e; dollars per pound U ₃ O ₈ e)	41.3	10.20	45.4	13.15	43.0	11.81	43.7	11.19
(thousand metric tons U; dollars per kilogram U)	15.9	26.52	17.5	34.19	16.5	30.69	16.8	29.08
Foreign Sales by U.S. Suppliers and Utilities								
(million pounds U ₃ O ₈ e; dollars per pound U ₃ O ₈ e)	9.8	13.48	11.5	14.20	17.0	12.39	15.1	12.05
(thousand metric tons U; dollars per kilogram U)	3.8	35.06	4.4	36.92	6.5	32.22	5.8	31.33

U₃O₈e = U₃O₈ equivalent.

Note: Prices are in nominal U.S. dollars.

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1995-1998).

c.—Carga e Inventario Comerciales de Uranio en EE.UU, 1995-1998

Items	1995	1996	1997	1998 ^P
Fuel Assemblies Loaded Into U.S. Commercial Nuclear Power Reactors				
(million pounds U ₃ O ₈ e)	51.1	46.2	48.2	38.3
(thousand metric tons U)	19.7	17.8	18.5	14.7
Commercial Inventories at the End of the Year				
U.S. Utility Inventories				
(million pounds U ₃ O ₈ e)	58.7	66.1	65.9	66.9
(thousand metric tons U)	22.6	25.4	25.3	25.7
U.S. Utility and Supplier Inventories				
(million pounds U ₃ O ₈ e)	72.5	80.0	106.2	137.6
(thousand metric tons U)	27.9	30.8	40.9	52.9

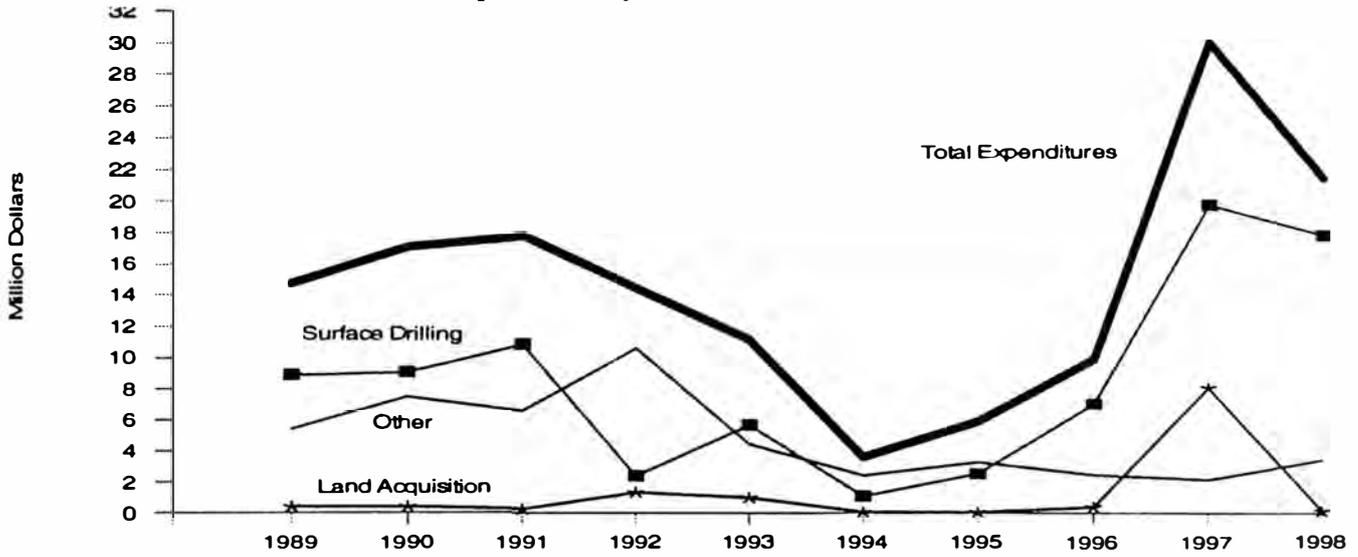
U₃O₈e = U₃O₈ equivalent.

P= Preliminary data. Final 1997 data reported in the 1998 survey.

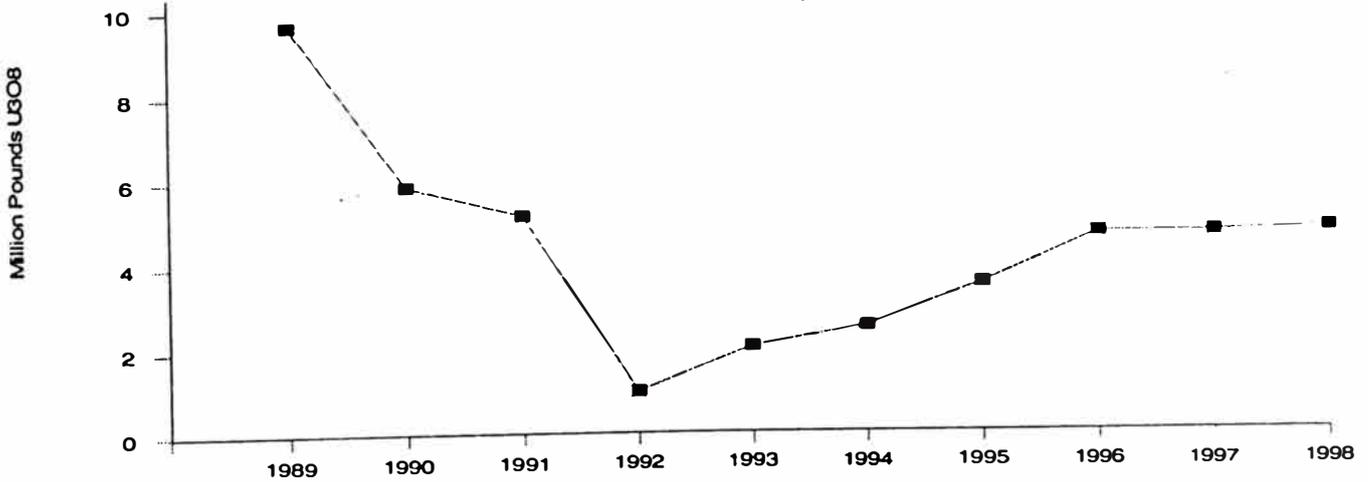
Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1996-1998).

Figura 15.—Desembolsos Operativos y Producción de Uranio en EE.UU.

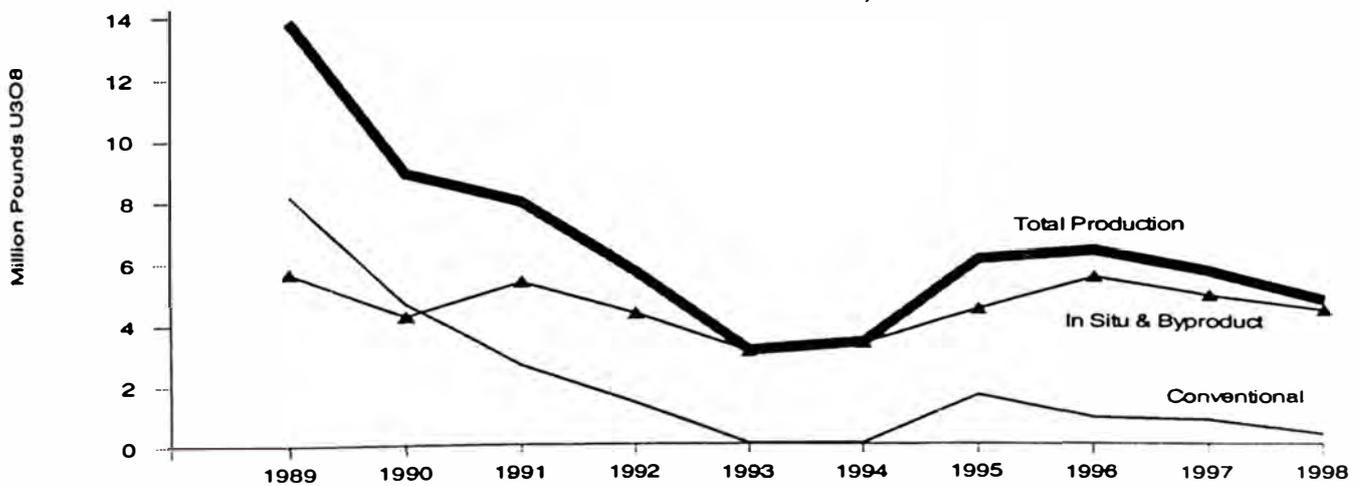
a.—Desenvolsos de Exploración y Desarrollo de Minas, 1989-1998



b.—Producción de Mena de Uranio, 1989-1998



c.—Producción de Concentrados de Uranio, 1989-1998



Sources: Energy Information Administration: 1989-1997-Uranium Industry Annual 1997 (April 1998). 1998-Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

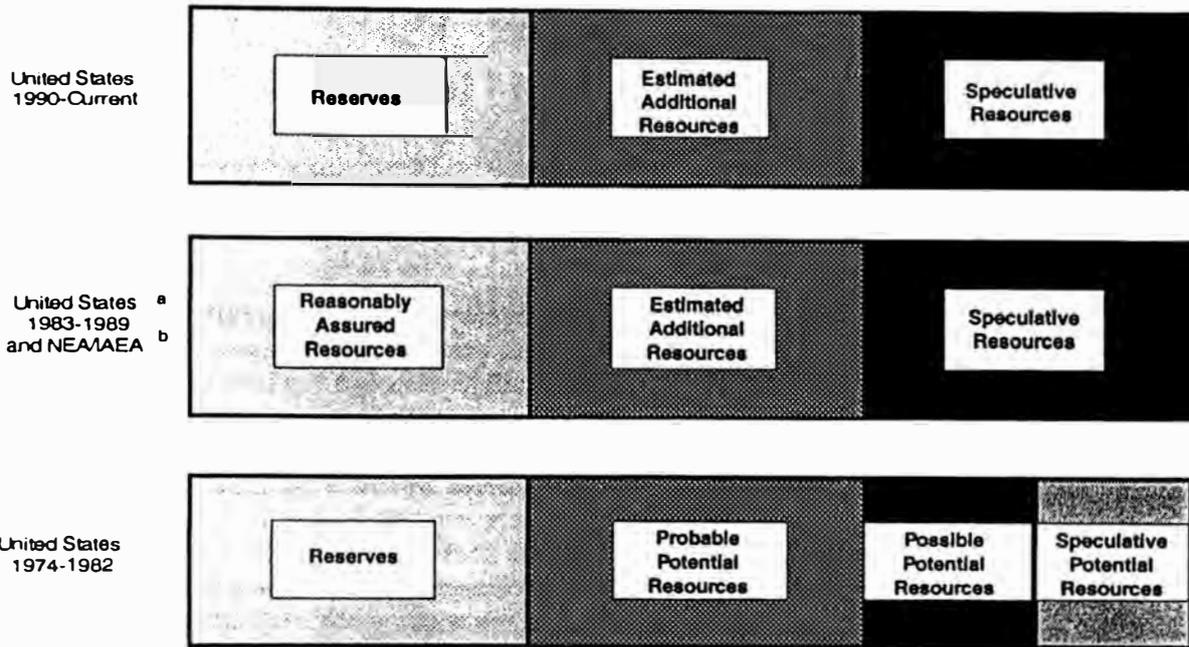
B. Recursos y Reservas

DOE/EIA reporta tres clases de recursos en paralelo a los reportados por NEA/IAEA (Figura 16), y ellos son estimados de reservas, estimados de recursos adicionales (EARs), y recursos especulativos (SRs). Los EARs y SRs son recursos potenciales no aún descubiertos. La Figura 3 de NEA/IAEA y Figura 16 de DOE/EIA representan una comparación actual e histórica de los recursos uraníferos existentes en los EE. UU. y a nivel mundial (DOE/EIA-0478 (98) p. 42).

B1. Estimados de Recursos Potenciales

Los estimados de recursos EARs y SRs son basados en datos extensivos coleccionados por DOE/EIA, los que incluyen datos de análisis químicos de testigos diamantinos, levantamientos geoquímicos de aguas superficiales y subterráneas, y de sedimentos; levantamientos radiométricos aéreos; perforaciones adicionales como sean necesarios; y estudios geológicos de campo en los EE. UU. Estimados de recursos potenciales están basados en la información preparada por DOE-*National Uranium Resource Evaluation* (NURE) y DOI-*U.S. Geological Survey* (donde actualmente trabajo). La Tabla 10 (*U.S. Potential Uranium Resources by Forward-Cost Category and Resource Class, 1989-1998*), presenta estimados de EARs y SRs en millones de libras de uranio (Mlb U_3O_8) y por categoría de costos futuros ("*Forward-Cost*") y clase de recursos. Desde 1994, no se han realizado mayores revisiones de estos recursos, ya que se podría adquirir uranio en el futuro, del extranjero y competitivamente. La Figura 17 muestra las cantidades de estos recursos, EARs y SRs, que DOE/EIA los ha sumariado por regiones en el país y además por categoría de costos en la Tabla 11 (*U.S. Potential Uranium Resources by Forward-Cost Category and Resource Region, 1998*). Las Regiones más importantes de EE.UU., Colorado Plateau, Wyoming Basins, y Coastal Plain, contienen los mayores recursos uraníferos (DOE/EIA-0478 (98) p. 42).

Figura 16.—Comparación Actual-Histórica de Recursos Uraníferos: DOE/EIA y NEA/IAEA



*This nomenclature was adopted in 1983 by the U.S. Department of Energy and was patterned after the Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency Standard.

The classifications shown for the United States prior to 1983 and after 1989 and the NEA/IAEA are not strictly comparable, because the criteria used in the individual systems are not identical. Precise correlations are not possible, particularly for the less assured resources. Nonetheless, based on the principal criterion of geological assurance of existence, this figure presents a reasonable approximation of uranium resources classification comparability.

*NEA/IAEA: Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency.

Note: The NEA/IAEA separates the Estimated Additional Resources (EAR) into Categories I and II based primarily on geological inference. Categories I and II of EAR are not utilized for estimates of resources in the United States.

Source: Prepared by the Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels.

Figura 17.—Regiones con Recursos Uraníferos en los Estados Unidos



Source: U.S. Department of Energy, *An Assessment Report on Uranium in the United States of America*, GJO-111(80) (Grand Junction, Colorado, October 1980).

Tabla 10.—Recursos Potenciales por Categorías y Costos Futuros (Mlb U₃O₈), 1989-1998

Year	Forward-Cost Category					
	\$30 per pound		\$50 per pound		\$100 per pound	
	EAR ^a	SR ^b	EAR ^a	SR ^b	EAR ^a	SR ^b
1989	2,300	1,400	3,400	2,300	5,000	3,500
1990	2,200	1,300	3,400	2,200	4,900	3,500
1991	2,200	1,400	3,400	2,300	4,900	3,600
1992	2,200	1,300	3,400	2,300	4,900	3,500
1993	2,200	1,330	3,340	2,250	4,880	3,510
1994	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480
1995 ^c	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480
1996 ^c	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480
1997 ^c	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480
1998 ^c	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480

^aEAR = Estimated Additional Resources.

^bSR = Speculative Resources.

^cAnnual updating of the estimates by the Energy Information Administration was suspended after 1994. Potential resource estimates remain unchanged after 1994.

Notes: Values shown are the mean values for the distribution of estimates for each forward-cost category: 1989-1992- rounded to the nearest 100 million pounds U₃O₈; 1993-1998- rounded to the nearest 10 million pounds U₃O₈. Estimates of uranium that could be recovered as a byproduct of other commodities are not included. Resource values in forward-cost categories are cumulative: that is, the quantity at each level of forward cost includes all resources at the lower cost in that category.

Sources: 1989-1994—Estimates based on uranium resources data developed under the NURE program and USGS Uranium Resource Assessment Project using methodology described in *Uranium Resource Assessment by the Geological Survey: Methodology and Plan to Update the National Resource Base*, U.S. Geological Survey Circular 994 (1987).

Tabla 11.—Recursos Potenciales por Categorías, Costos Futuros, y Regiones (Mlb), 1998

Resource Region	Forward-Cost Category					
	\$30 per pound		\$50 per pound		\$100 per pound	
	EAR ^a	SR ^b	EAR ^a	SR ^b	EAR ^a	SR ^b
Colorado Plateau	1,330	480	1,900	770	2,540	1,210
Wyoming Basins	160	80	340	160	660	250
Coastal Plain	370	130	490	180	600	230
Northern Rockies	30	110	60	200	170	300
Colorado and Southern Rockies	140	90	180	140	220	190
Basin and Range	50	90	160	170	390	320
Other Regions ^c	110	330	180	610	270	990
Total	2,180	1,310	3,310	2,230	4,850	3,480

^aEAR = Estimated Additional Resources.

^bSR = Speculative Resources.

^cIncludes Appalachian Highlands, Great Plains, Pacific Coast and Sierra Nevada, Central Lowlands, and Columbia Plateau regions and Alaska.

Notes: Values shown are the mean values for the distribution of estimates for each forward-cost category, rounded to the nearest 10 million pounds U₃O₈. Estimates of uranium that could be recovered as a byproduct of other commodities are not included. Resource values in forward-cost categories are cumulative: that is, the quantity at each level of forward cost includes all resources at the lower cost in that category.

Sources: Prepared by the Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, based on uranium resources data developed under DOE *National Uranium Resource Evaluation (NURE) program* and the USGS Uranium Resource Assessment project, using methodology described in *Uranium Resource Assessment by the Geological Survey: Methodology and Plan to Update the National Resource Base*, U.S. Geological Survey Circular 994 (1987).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

B2. Estimados de Reservas de Uranio

Reservas de uranio son aquellas cantidades recuperables de depósitos conocidos con leyes, tonelajes, y configuraciones geológicas conocidas. Los estimados de reservas son basados en medidas directas de ensayos radiométricos y químicos obtenidos de las perforaciones y testigos diamantinos. En la evaluación, en general, se consideran los siguientes factores: leyes de mena (ore), espesores, relaciones espaciales, métodos de extracción, dilución de mina, recuperación de planta, y distancia de transporte. También, se consideran los costos-futuros o anticipados (“*forward-costs*”) de operación como: mano de obra, materiales, electricidad y gas, regalías, impuestos a salarios, seguros, costos aplicables de administración, y otros. Rembolsos anteriores al año de operación los denominados “costos-pasados” o “*sunk costs*”, si los hay, como costos de adquisición de tierras, exploraciones y desarrollos, costos de financiamiento, ganancias e impuestos son excluidos. Estos, no son costos totales o completos (“*full costs*”) y tampoco representan el precio de venta del uranio producido (“*forward-costs = full costs - sunk costs*”).

DOE/EIA mantiene datos históricos de reservas de uranio reportadas por las compañías productoras, las que son convalidadas por estimados independientes. Las reservas actuales e históricas durante el periodo 1989-98, son mostradas en la Tabla 12 (DOE/EIA-0478 (98) p. 44).

En 1998, DOE/EIA estima dos categorías de reservas de uranio las que ascienden a 276 Mlb a un costo-futuro de \$30/lb y 923 Mlb a \$50/lb. En los Estados donde trabajé, New Mexico (Anaconda), Texas (Exxon Minerals), y Wyoming (TVA), las reservas de uranio existentes representan el 74% de la categoría de \$30/lb de U_3O_8 (Tabla 13). De la misma manera, las reservas mineras subterráneas sumaron al rededor del 50%, las de lixiviación “*In Situ Leaching*” (ISL) representan el 39%, y la diferencia son reservas de tajo abierto y escombros, en cada costo-categoría (Tabla 14).

Tabla 12.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro (Mlb U₃O₈), 1989-1998

Year	\$30 per pound	\$50 per pound	\$100 per pound
1989	277	962	1,537
1990	265	926	1,511
1991	304	975	1,542
1992	295	959	1,523
1993	292	952	1,511
1994	294	953	1,501
1995	290	947	1,493
1996	285	939	1,480
1997	281	931	1,466
1998	276	923	1,452

Note: Uranium reserves that could be recovered as a byproduct of phosphate and copper mining are not included in these reserves. Reserves values in forward-cost categories are cumulative; that is, the quantity at each level of forward cost includes all reserves at the lower costs.

Source: Estimated by the Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, based on U.S. Department of Energy, Grand Junction Projects Office data files and Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1989-1998).

Tabla 13.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro, por Estados, 1998

State(s)	\$30 per pound			\$50 per pound		
	Ore (million tons)	Grade* (percent U ₃ O ₈)	U ₃ O ₈ (million pounds)	Ore (million tons)	Grade* (percent U ₃ O ₈)	U ₃ O ₈ (million pounds)
New Mexico	15	0.279	84	111	0.157	350
Wyoming	44	0.130	113	243	0.077	377
Arizona, Colorado, Utah	7	0.290	42	45	0.132	118
Texas	4	0.080	7	19	0.065	24
Other ^b	8	0.201	30	26	0.106	55
Total	78	0.178	276	444	0.104	923

*Weighted average percent U₃O₈ per ton of ore.

^bIncludes California, Idaho, Nebraska, Nevada, North Dakota, Oregon, South Dakota, and Washington.

Notes: Uranium reserves that could be recovered as a byproduct of phosphate and copper mining are not included in this table. Reserves values in forward-cost categories are cumulative; that is, the quantity at each level of forward-cost includes all reserves at the lower costs. Totals may not equal sum of components because of independent rounding.

Sources: Estimated by Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, based on industry conferences, U.S. Department of Energy, Grand Junction Projects Office data files, and Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Tabla 14.—Reservas de Uranio por Categorías de Costo-Futuro y Método de Minado, 1998

Mining Method	Forward-Cost Category					
	\$30 per pound			\$50 per pound		
	Ore (million tons)	Grade* (percent U ₃ O ₈)	U ₃ O ₈ (million pounds)	Ore (million tons)	Grade* (percent U ₃ O ₈)	U ₃ O ₈ (million pounds)
Underground	25	0.272	138	143	0.163	464
Openpit	10	0.139	29	163	0.079	257
In Situ Leaching	42	0.130	109	123	0.076	187
Other ^b	< 1	0.264	< 1	15	0.050	15
Total	78	0.178	276	444	0.104	923

*Weighted average percent U₃O₈ per ton of ore.

^bIncludes heap leach, mine water, and low grade stockpiles.

Notes: Uranium reserves that could be recovered as a byproduct of phosphate and copper mining are not included in this table. Reserves values in forward-cost categories are cumulative; that is, the quantity at each level of forward-cost includes all reserves at the lower costs. Totals may not equal sum of components because of independent rounding.

Sources: Estimated by Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, based on industry conferences, U.S. Department of Energy, Grand Junction Projects Office data files, and Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey."

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

C. Producción Minera de Uranio

Las reservas estimadas y contenidas en depósitos conocidos pueden ser recuperadas a costos específicos usando tecnologías convencionales y avanzadas de extracción y concentración. Respecto a la capacidad de producción de uranio a largo plazo, éste debe ser realizable con un desarrollo sostenible y protección del ambiente, basado en reservas uraníferas existentes y futuras.

En 1998, la industria Americana produjo 4 millones y 782 mil libras de uranio (4.782 Mlb de U_3O_8), un incremento de 2% con respecto al año anterior. La producción de mena y concentrados fueron los más altos, en 6 años, desde 1991. Operaron al final de 1998, 4 minas subterránea y 6 plantas ISL, 4 molinos de concentración convencional, 1 planta convencional produjo U_3O_8 de los escombros e inventarios de mina, y 1 planta de fosfato produjo uranio como sub-producto. Hasta la fecha, desde 1992, todas las minas a tajo abierto permanecen cerradas. Uranio también fué recuperado de las aguas subterráneas como también de la actividad de reclamación ambiental de las operaciones agotadas, usando el método ISL. Las plantas no convencionales produjeron 78% de pasta amarilla y otras plantas como las de concentración produjeron 22% del total (Tabla 15), (DOE/EIA-0478 (98) p. 7).

D. Producción y Entrega de Concentrados de Uranio

Los productores de concentrados hicieron entregas de 4.705 Mlb en 1998, el que representa un decrecimiento de 16.6% comparado con 1997 (Tabla 16.—*U.S. Uranium Concentrate Processing Operations*, 1989-1998). Producción de U_3O_8 en plantas convencionales de concentración alcanzó sólo 0.323 Mlb, lo cual significa que los molinos convencionales produjeron uranio por segunda vez desde 1992; sin embargo, hay todavía una incertidumbre en producir uranio económica y competitivamente usando el método convencional. Producción de U_3O_8 por otros métodos, el ISL

Tabla 15.—Producción de Uranio por Método de Explotación, 1989-1998

Mining Method	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Underground (thousand pounds U ₃ O ₈)	5,300	W	W	W	0	0	0	W	W	W
Openpit (thousand pounds U ₃ O ₈)	W	1,881	2,528	W	0	0	0	0	0	0
In Situ Leaching (thousand pounds U ₃ O ₈)	W	W	W	W	W	2,448	3,372	4,379	4,084	3,721
Other ^a (thousand pounds U ₃ O ₈)	4,400	3,995	2,654	986	2,050	78	156	326	626	1,062
Total Mine Production (thousand pounds U ₃ O ₈)	9,700	5,876	5,182	986	2,050	2,526	3,528	4,705	4,710	4,782
Number of Mines Operated										
Underground	19	27	6	4	0	0	0	1	1	4
Openpit	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0
In Situ Leaching	9	7	6	4	5	5	5	6	7	6
Other Sources ^b	2	3	1	8	7	7	7	6	6	5
Total Mines and Sources	32	39	15	17	12	12	12	13	14	15

^aFor 1989, "Other" includes production from openpit, in situ leach, heap leach, mine water, and water-treatment plant solutions. Production quantities were rounded to the nearest 100 thousand pounds. For 1990 and 1991, "Other" includes production from underground, in situ leach, heap leach (1990), mine water, water treatment plant solutions (1990), and restoration. For 1992, "Other" includes production from underground, openpit, and in situ leach mines and uranium bearing water from mine workings, tailings ponds, and restoration. For 1993, the "Other" includes production from in situ leach mines and uranium bearing water from mine workings and restoration. For 1994 and 1995, "Other" includes production from uranium bearing water from mine workings and restoration. For 1996 through 1998, "Other" includes production from underground mines and uranium bearing water from mine workings and restoration.

^bOther Sources includes, in various years, heap leach, mine water, mill site cleanup and mill tailings, well field restoration, and low-grade stockpiles as sources of uranium.

W=Data withheld to avoid disclosure. The data are included in the total for "Other."

Notes: Totals may not equal sum of components because of independent rounding. Table does not include byproduct production and sources.

Sources: Energy Information Administration: 1989-1997-Uranium Industry Annual 1997 (April 1998); 1998-Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

y como subproducto del procesamiento de fosfatos, alcanzó a 4.381 Mlb, el que representa un descenso de 9.8% con respecto a la producción de 1997 (Tabla 16.—*Other Processing*).

Las entregas de concentrados de uranio, en el mercado americano, provenientes de molinos convencionales, ISL, y subproducto de fosfatos llegó a la suma de 4.863 Mlb de U_3O_8 en 1998 (Tabla 16.—*Total Concentrate Shipped From Mills and Plants*). La producción anual de 4.705 Mlb de uranio en concentrados no excedió las entregas anuales por la segunda vez desde el año anterior, excepto los años 1995 y 1996, cuando la producción de concentrados fueron mayores que las entregas de uranio (Tabla 16), (DOE/EIA-0478 (98) p. 8).

E. Ubicación, Estado de las Plantas de Procesamiento y Areas de Reservas de Uranio

En 1998, las condiciones operativas de las plantas tanto convencionales como noconvencionales para producir pasta amarilla fueron las siguientes, los 6 molinos convencionales estuvieron inactivos o cerrados, con una capacidad de molienda de 14,400 toneladas métricas por día (t/d) de mena de uranio. Sin embargo, 3 de ellos produjeron concentrados de desmontes y aguas subterráneas. Siete plantas noconvencionales, de las cuales 6 fueron del método de lixiviación o “*In Situ Leaching-ISL*” y una de fosfatos, produjeron uranio económicamente. Estas plantas tuvieron una capacidad productiva combinada de 8,700,000 libras por año (8.7 Mlb/a). Ocho plantas noconvencionales estuvieron cerradas en 1998, y dos de ellas en el Estado de Florida permanecen cerradas indefinidamente por ser no competitivas todavía. Tres plantas, de las 5 ISL inactivas, produjeron cantidades pequeñas de uranio durante la restauración ecológica en West Cole, Texas; Sunshine Bridge, Louisiana; e Irigary, Wyoming. La ubicación y condición de las plantas de recuperación así como las areas de reservas de uranio en los EE.UU., principalmente en las zonas rocallosas, están señalados en la Figura 18 (DOE/EIA-0478 (98) p. 5).

Tabla 16.—Operaciones de Procesamiento de Concentrados en EE. UU., 1989-1998

Processing Operations	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Ore Fed to Process ^a (thousand tons)	1,235	722	639	256	0	0	167	44	0	0
Percent U ₃ O ₈ ^b	0.323	0.293	0.198	0.229	—	—	0.520	0.500	—	—
Contained U ₃ O ₈ (thousand pounds)										
In Ore	7,977	4,227	2,529	1,171	0	0	1,739	444	0	0
Other Feed Materials ^c	429	485	179	181	42	78	163	409	911	387
Total Mill Feed (thousand pounds U ₃ O ₈) ..	8,406	4,712	2,708	1,353	42	78	1,902	853	911	387
In-Process Inventory Change	-234	-244	-122	-25	10	24	157	-137	52	-7
(thousand pounds U ₃ O ₈)										
Concentrate Produced at Mills (thousand pounds U ₃ O ₈)										
Theoretical ^d	8,640	4,956	2,830	1,377	31	54	1,744	990	859	393
Actual	8,175	4,649	2,608	1,359	30	46	1,615	860	784	323
Recovery as Percent of Mill Feed	94.6	93.8	92.2	98.7	—	—	92.6	86.8	91.2	82.2
Tailings and Unaccountable (thousand pounds U ₃ O ₈)	465	307	222	18	1	8	130	130	76	70
Other Processing^e (thousand pounds U ₃ O ₈)	5,662	4,237	5,344	4,286	3,033	3,306	4,428	5,461	4,859	4,381
Total Uranium Concentrate Production (thousand pounds U ₃ O ₈)	13,837	8,886	7,952	5,645	3,063	3,352	6,043	6,321	5,643	4,705
Total Concentrate Shipped From Mills and Plants (thousand pounds U ₃ O ₈)	14,808	12,957	8,437	6,853	3,374	6,319	5,500	5,982	5,817	4,863

^aUranium ore "fed to process" in any year can include: ore mined and shipped to a mill during the same year, ore that was mined during a prior year and later shipped from mine-site stockpiles, and/or ore obtained from drawdowns of stockpiles maintained at a mill site.

^bWeighted average percent U₃O₈ per ton of ore.

^cIncludes for various years uranium from low-grade ore, mill cleanup, mine water, tailings water, heap leaching, and waste stream materials.

^dAt 100-percent recovery.

^eU₃O₈ concentrate production from in situ leaching and as a byproduct of phosphate processing.

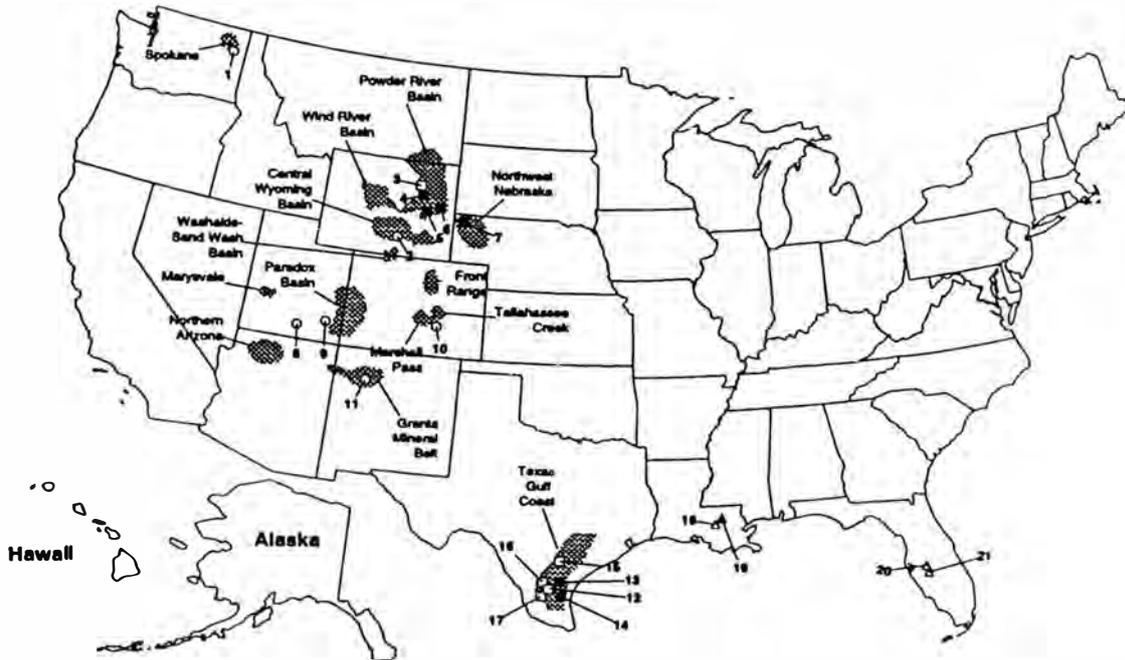
— = Not applicable.

Note: Totals may not equal sum of components because of independent rounding.

Sources: Energy Information Administration: 1989-1997-Uranium Industry Annual 1997 (April 1998); 1998-Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

Figura 18.—Áreas Mayores con Reservas de Uranio y Estado (*Status*) de los Molinos y las Plantas de Procesamiento en los Estados Unidos, 1998



Active at the End of 1998

- 4. Malapal Resources, Christensen Ranch
- 5. Rio Algom Mining, Smith Ranch
- 6. Converse County Mining Venture, Highland
- 7. Crow Butte Resources, Crow Butte
- 13. Uranium Resources, Roosta
- 14. Uranium Resources, Kingsville Dome
- 19. IMC-Agrico, Uncle Sam

Inactive at the End of 1998

- 1. Dawn Mining, Ford ^a
- 2. Green Mountain Mining Venture, Sweetwater
- 3. Malapal Resources, Irigaray ^b
- 8. U.S. Energy, Shooting Star
- 9. International Uranium (USA), White Mesa ^c
- 10. Cotter Corp., Canon City
- 11. Rio Algom Mining, Ambrosia ^d
- 12. Malapal Resources, Holiday-El Mesquite ^b
- 15. Everest Minerals, Hobson
- 16. COGEMA Mining, West Cole ^b
- 17. Malapal Resources, O'Hem ^b
- 18. IMC-Agrico, Sunshine Bridge
- 20. IMC-Agrico, Plant City
- 21. IMC-Agrico, New Wales

Uranium Production Centers		
Active	Inactive	
●	○	Conventional Mills
■	□	In Situ Leach Plant
▲	△	Byproduct From Phosphate Processing
		Major Uranium Reserve Area [*]

^aRecovered uranium by processing the waste stream at a mine water treatment plant during 1998.

^bRecovered uranium by processing water from in situ leach mine restoration during 1998.

^cRecovered uranium by processing from waste stream materials during 1998.

^dRecovered uranium by processing mine water solution during 1998.

^{*}Major areas containing reasonably assured resources at \$50-per-pound U₃O₈ or less.

Sources: Based on U.S. Department of Energy, Grand Junction Project Office (GJPO), *National Uranium Resource Evaluation, Interim Report* (June 1979) Figure 3.2; GJPO data files; and Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

F. Oferta, Demanda, y Precios de Uranio

El uranio en concentrado (U_3O_8) es convertido a UF_6 , el que es enriquecido a U_{235} , éste último se usa como materia prima en la producción de energía eléctrica usando reactores nucleares tipo LWR.

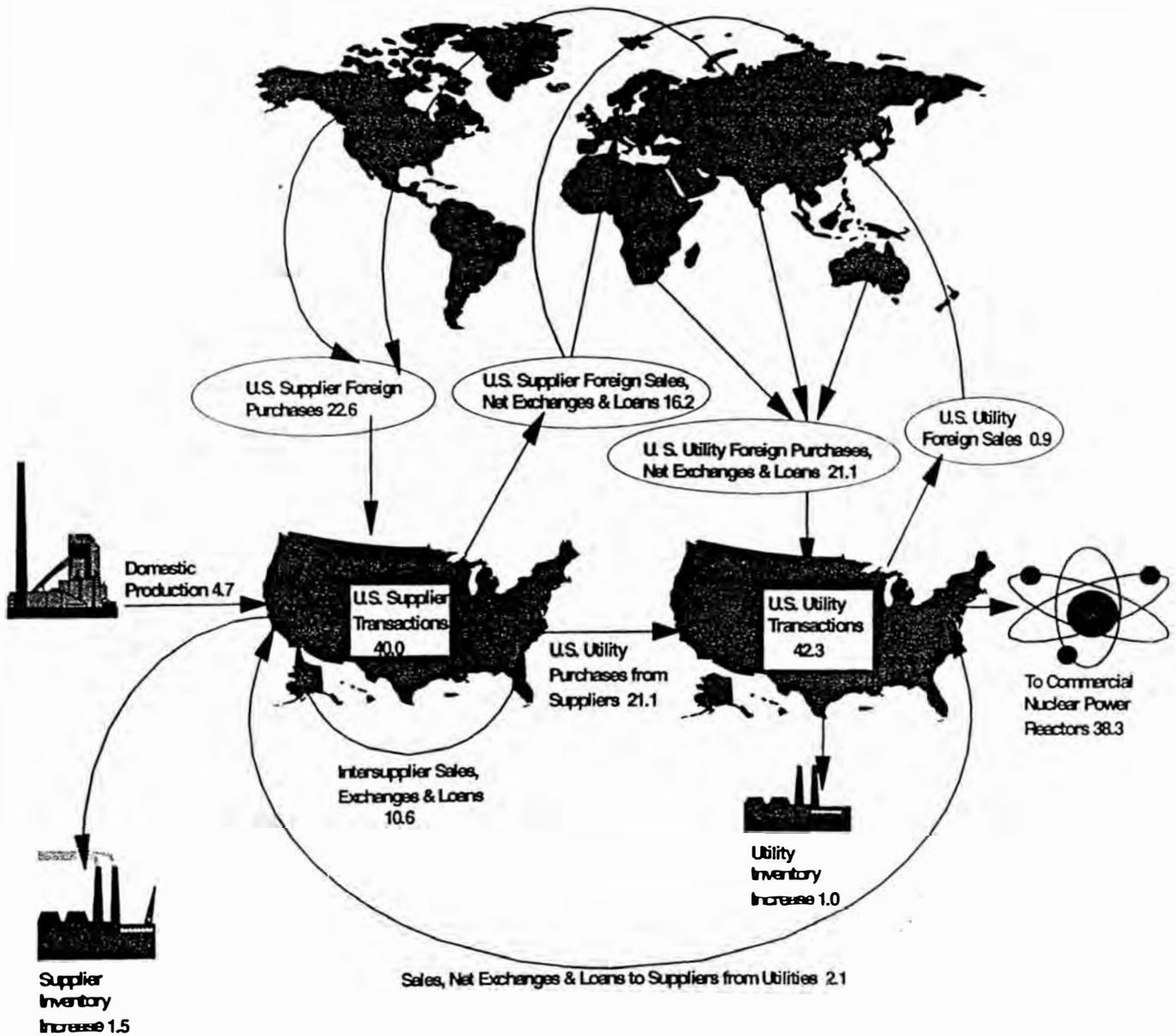
La Figura 19 muestra la actividad de mercado y el movimiento de uranio entre los Estados Unidos y los productores, vendedores, y corredores de bolsa del uranio equivalente (U_3O_8e) a nivel mundial durante 1998. Los productores de energía nuclear (UAs - Utilities Americanas) compraron U_3O_8e de proveedores tanto domésticos como extranjeros.

Los abastecedores o suministradores domésticos son firmas Americanas que proveen intercambios y préstamos de uranio, y compran y venden U_3O_8e , pero, que no son UAs. También incluyen corporaciones que corren bolsas de uranio, firmas que convierten y enriquecen uranio; así como firmas que son dueños de propiedades uraníferas. Proveedores y productores extranjeros son aquellas corporaciones que comercian uranio con los Estados Unidos.

F1. Actividades de Mercado del Uranio

Según DOE/EIA, las actividades de mercado son realizados en uranio equivalente (U_3O_8e), tanto en el mercado doméstico (Americano) como el internacional. En 1996, las compras por las UAs fueron de 47.3 Mlb de U_3O_8e , cantidad que asciende a 9% más de U_3O_8e comparados con los niveles de 1995 (43.4 Mlb). Sin embargo, en 1997 y 1998, recibieron cantidades menores de 42.0 Mlb y 42.7 Mlb, respectivamente. Estas cantidades compradas por las UAs, provinieron de los siguientes sectores: productores, proveedores y compradores, inventarios excedentes de otras UAs, y de otros proveedores americanos, y de proveedores extranjeros (Tabla 9b.—*Purchases by U.S. Utilities, 1995-1998*). También DOE/EIA, señala que los precios promedios pagados por las UAs fueron \$14.12 por libra de U_3O_8e (\$/lb) en 1996, un aumento del 26% con respecto al precio promedio de

Figura 19.—Actividad Global de Mercado y Movimiento de Uranio (Mlb U₃O₈), 1998



Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

1995 (\$11.25/lb); \$12.88/lb y \$12.14/lb en 1997 y 1998, respectivamente (Tabla 9b). La baja de precios se debe, principalmente, a causas importantes como: (1) a las negociaciones finalizadas recientemente entre Cameco Corp. del Canadá, Cogema de Francia, y NUKEM de Alemania con las Autoridades Rusas, quienes venderán 260 Mlb de U_3O_8 en los próximos 15 años. Dicho volumen proviene de los inventarios militares (misiles) rusos y que son the alta concentración de uranio enriquecido (HEU); (2) los gobiernos Ruso—Americano firmaron un acuerdo en 1993, para que Rusia venda a los Estados Unidos, durante 20 años, 500 toneladas métricas de HEU, los que se diluirían a una baja concentración de uranio enriquecido (LEU), mezclándolo con concentrados de uranio o pasta amarilla (*Yellow cake- U_3O_8*), antes de ser entregados al proceso de generación de energía nuclear usando reactores tipo LWR; y (3) Cameco y Cogema pueden comprar 100 Mlb de U_3O_8 por un valor de \$2,800 millones a un precio (“*spot market*”) actual de \$10.75/lb (Mining Journal, 1999, p. 248).

Similarmente, los corredores de bolsa y comerciantes de uranio adquirieron un total de 25.3 Mlb de U_3O_8 a un precio promedio de \$12.61/lb en 1996, un 32% más alto que en 1995 (22.9 Mlb a \$9.53/lb). Sin embargo, tales adquisiciones y precios disminuyeron hasta 19.7 Mlb a \$11.00/lb y 24.4 Mlb a \$11.10/lb en 1997 y 1998, respectivamente (Tabla 9b.— *Purchases by U.S. Brokers and Traders*). También, en 1996, las compras de uranio de origen extranjero alcanzó a 45.4 Mlb de U_3O_8 a un precio promedio de \$13.15/lb, el que representa un incremento del 29% con respecto al año 1995 (41.3 Mlb a \$10.20/lb). Las mismas compras alcanzan los niveles de 43.0 Mlb a \$11.81/lb y 43.7 Mlb a \$11.19/lb en 1997 y 1998, respectivamente (Tabla 9b.— *Foreign Purchases by U.S. Suppliers and Utilities*).

Ventas al extranjero fueron 11.5 Mlb de U_3O_8 a un precio promedio de \$14.20/lb en 1996, el que

fué 5% más alto que en 1995 (9.8 Mlb a \$13.48/lb); tales ventas alcanzaron 17.0 Mlb a \$12.39/lb y 15.1 Mlb a \$12.05/lb en 1997 y 1998, respectivamente (Tabla 9b.—*Foreign Sales by U.S. Suppliers and Utilities*).

Las UAs cargaron en sus ensamblajes (“*pipeline*”) 46.2 Mlb de U_3O_8 e para producir electricidad con sus reactores atómicos LWR en 1996, el cual fué 4.9 Mlb de U_3O_8 e menor que en 1995. Similarmente, dichas cargas fueron de 48.2 Mlb y 38.3 Mlb en 1997 y 1998, respectivamente (Tabla 9c.—*Fuel Assemblies Loaded into U.S. Commercial Nuclear Reactors*).

Finalmente, los inventorios comerciales de las UAs ascendieron continuamente de 72.5 Mlb en 1995 hasta 137.6 Mlb de U_3O_8 e en 1998 (Tabla 9c.—*Commercial Inventories at the End of the Year*). Esto representa un 89.8% de aumento con respecto a 1995, pero un 14.1% menor al nivel de 1984, año en que dicho inventario alcanzó a 160.2 Mlb de U_3O_8 e y que fué el más alto de todos los tiempos (EIA/Uranium Industry Annual, April 1997, 1998, and 1999).

En 1998, al rededor del 34% de uranio recibido por las UAs fueron de origen Canadiense, mientras que el 17% fueron producidos domésticamente. En orden de importancia, los 4 países que siguieron al Canadá, en proveer uranio a los EE.UU., fueron Rusia con 14%, Australia con 13%, y Sud Africa y Uzbekistan con 6% (Figura 20). De manera similar, la Tabla 17 muestra las compras realizadas por las UAs de uranio equivalente (U_3O_8 e), tanto de origen doméstico como extranjero y por clase de material. Las adquisiciones fueron hechas en concentrados, 31.405 Mlb (73.5%) a un precio promedio de \$12.08/lb, en uranio hexafluorita (UF_6), 7.354 Mlb (17.2%) a \$12.90/lb, y uranio enriquecido U_{235} , 3.984 Mlb (9.3%) a \$11.06/lb, tales compras ascienden a 42.743 Mlb a un precio promedio de \$12.14/lb (DOE/EIA-0478 (98) p. 22). Compras similares alcanzaron a 47.333 Mlb a un precio promedio de \$14.12/lb y 41.961 Mlb a \$12.88/lb en 1996 y 1997, respectivamente.

Figura 20.—Compras Mayores de Uranio por las UAs a Nivel Mundial en 1998

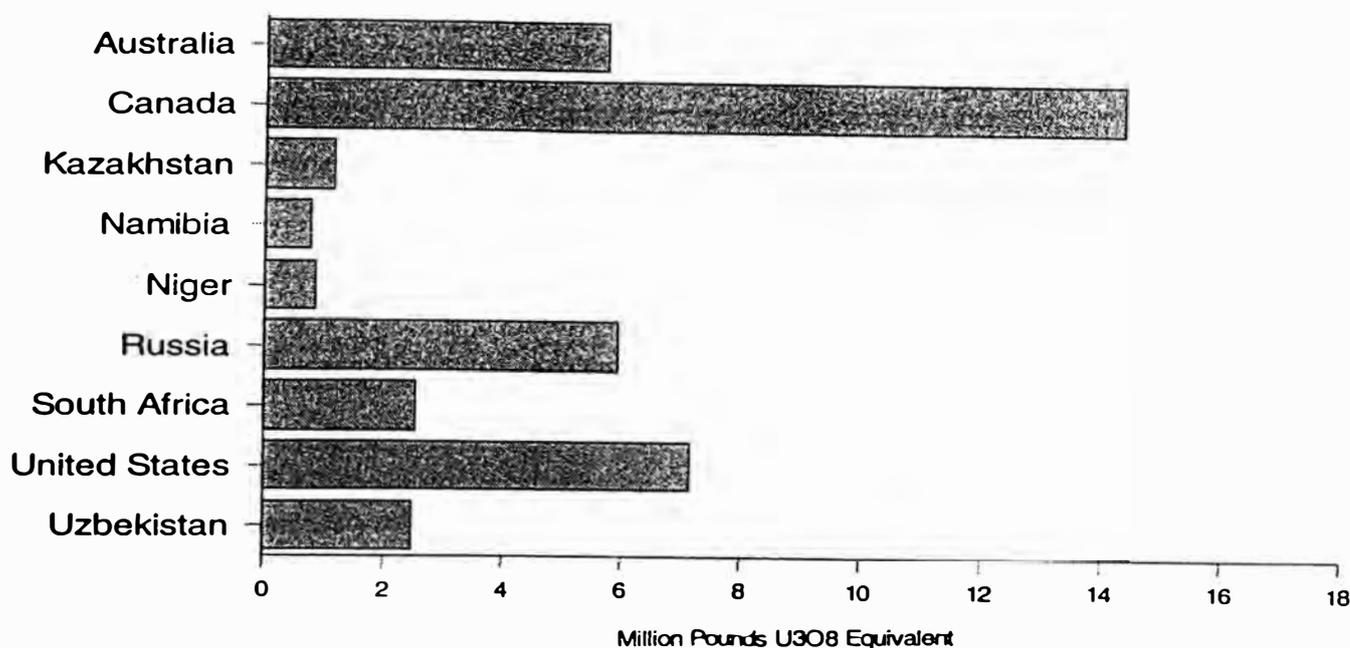


Tabla 17.—Compras de Uranio por las UAs por Origen y Clase de Material en 1998

Actual Deliveries	U ₃ O ₈	Natural UF ₆	Enriched Uranium	Total
Received by U.S. Utilities of U.S.-Origin Uranium:				
Purchases	4,495	576	2,110	7,181
Weighted-Average Price	14.15	11.40	11.62	13.37
Received by U.S. Utilities of Foreign-Origin Uranium:				
Purchases	26,910	6,778	1,874	35,562
Weighted-Average Price	11.73	13.06	10.48	11.90
Total:				
Purchases	31,405	7,354	3,984	42,743
Weighted-Average Price	12.08	12.90	11.06	12.14

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

F2. Contratos y Precios de Compras

La Tabla 18, en la primera columna, muestra los tipos de contratos y precios de entrega, tanto de compras domésticas como extranjeras durante 1996-98. Los contratos a precios específicos fueron las transacciones dominantes. En 1998, por ejemplo, las entregas totales de uranio equivalente y sus precios respectivos fueron [*Total Purchases* en 1996 (22,645 lb a \$13.55/lb), 1997 (20,440 lb a \$13.65/lb), y 1998 (25,532 lb a \$12.99/lb)]. Las entregas con el mecanismo de precio-abierto o de mercado-libre sin límite fueron menores que las anteriores, en 1996 (19,892 lb a \$14.73/lb), en 1997 (12,981 lb a \$12.13/lb), y en 1998 (10,354 lb a \$10.57/lb). El promedio de los precios de U_3O_8e de las compras, domésticas y extranjeras, disminuyeron de \$14.12/lb (46,579 lb U_3O_8e) en 1996 a \$12.88/lb (41,199 lb) en 1997, y a \$12.14/lb (40,108 lb) en 1998 (DOE/EIA-0478 (98) p. 22).

En 1998, se firmaron 15 contratos por una cantidad de 4 millones y 531 mil libras de uranio equivalente (4.531 Mlb de U_3O_8e) a un precio promedio de entrega de \$10.38/lb. De este total, 13 son contratos a “*spot*” alcanzando a 3.5 Mlb de U_3O_8e a un promedio de precio específico (“*spot*”) de \$10.15/lb (Tabla 19). La Tabla 20 representa los nuevos contratos a entrega firme de 18.710 Mlb y contratos de entrega optional de 8.393 Mlb firmados en 1998. Estos contratos representan entregas de U_3O_8e a largo plazo durante el periodo de 1999-2008 (DOE/EIA-0478 (98) p. 24).

La Tabla 21 muestra los contratos firmados por las UAs al final de 1998, y representan compras de origen tanto doméstico como extranjero de U_3O_8e para que sean entregadas durante el periodo de 1999-2008. Las cantidades de dichos contratos son de 129.9 Mlb de entrega firme y 46.8 Mlb de entrega optional (DOE/EIA-0478 (98) p. 25) .

Al final de 1998, las UAs indicaron tener contratos por 176.7 Mlb de U_3O_8e y tienen necesidad de uranio adicional (“*unfilled requirements*”) para sus reactores atómicos tipo LWR, durante 1999-

Tabla 18.—Cantidades y Precios Promedios de las Compras de Uranio por las UAs, 1996-1998

Pricing Mechanisms	Domestic Purchases ^a			Foreign Purchases ^b			Total Purchases		
	1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998
Contract-Specified Pricing									
Weighted-Average Price	13.40	13.33	12.53	13.98	14.21	14.08	13.55	13.65	12.99
Quantity with Reported Price	16,657	13,091	17,951	5,988	7,349	7,581	22,645	20,440	25,532
Market-Related Pricing									
No Floor Type									
Weighted-Average Price	13.66	11.20	9.33	14.75	12.44	10.09	14.45	12.03	9.92
Quantity with Reported Price	2,208	1,878	1,048	5,669	3,814	3,452	7,877	5,692	4,500
Floor Type									
Weighted-Average Price	16.13	14.52	13.50	14.64	11.96	10.93	14.92	12.21	11.07
Quantity with Reported Price	2,249	707	325	9,766	6,582	5,529	12,015	7,289	5,854
Market Related Total									
Weighted-Average Price	14.91	12.11	10.31	14.68	12.14	10.61	14.73	12.13	10.57
Quantity with Reported Price	4,457	2,585	1,373	15,435	10,396	8,981	19,892	12,981	10,354
Contract Specified and Market Related Total									
Weighted-Average Price	13.72	13.13	12.37	14.48	13.00	12.20	14.10	13.06	12.29
Quantity with Reported Price	21,114	15,676	19,324	21,423	17,745	16,562	42,537	33,421	35,886
Spot-Market Pricing									
Weighted-Average Price	14.90	11.03	10.66	14.26	12.39	10.43	14.61	11.80	10.49
Quantity with Reported Price	1,689	2,497	813	1,428	3,249	2,404	3,117	5,746	3,217
Other Pricing^c									
Weighted-Average Price	15.88	14.09	12.21	12.89	12.75	11.78	13.22	13.07	11.85
Quantity with Reported Price	100	481	151	825	1,551	854	925	2,032	1,005
All Pricing Mechanisms									
Weighted-Average Price	13.81	12.87	12.31	14.41	12.89	11.96	14.12	12.88	12.14
Quantity with Reported Price	22,903	18,654	20,288	23,676	22,545	19,820	46,579	41,199	40,108

^aUranium of both U.S. and foreign origin.

^bUranium of foreign origin only.

^cCategory used to report pricing mechanisms that are different from the other categories.

Source: Energy Information Administration. Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1996-1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

Tabla 19.—Clases de Contratos Firmados por las UAs para Compras de Uranio en 1998

Purchase Contract Type	Quantity of Actual Deliveries Received in 1998	Weighted-Average Price	Number of Purchase Contracts
Spot	3,501	10.15	13
Short-term	W	W	1
Medium-term	W	W	1
Long-term	0	—	0
Total	4,531	10.38	15

W=Data withheld to avoid disclosure.

— = Not applicable.

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Tabla 20.—Contratos Firmados por las UAs en 1998 para Entregas Futuras, 1999-2008

Year of Delivery	Firm Deliveries	Optional Deliveries	Total Deliveries
1999	4,019	774	4,793
2000	4,155	1,394	5,549
2001	3,776	1,382	5,158
2002	4,010	1,434	5,444
2003	2,390	1,819	4,209
2004	360	1,230	1,590
2005	0	360	360
2006	0	0	0
2007	0	0	0
2008	0	0	0
Total	18,710	8,393	27,103

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Tabla 21.—Contratos Futuros para Entregas Domésticas y Extranjeras, 1999-2008

Year of Delivery	Purchases from U.S. Suppliers		Purchases from Foreign Suppliers		Purchases from All Suppliers	
	Firm Deliveries	Optional Deliveries	Firm Deliveries	Optional Deliveries	Firm Deliveries	Optional Deliveries
1999	15,567	1,965	21,231	4,240	36,798	6,205
2000	11,879	2,037	23,296	5,021	35,175	7,058
2001	8,943	2,885	13,152	4,837	22,095	7,722
2002	6,927	2,135	12,947	4,802	19,874	6,937
2003	4,339	3,296	4,537	3,613	8,876	6,909
2004	3,130	2,391	1,985	3,878	5,115	6,269
2005	894	852	637	2,444	1,531	3,296
2006	0	752	421	899	421	1,651
2007	0	0	0	800	0	800
2008	0	0	0	0	0	0
Total	51,679	16,313	78,206	30,534	129,885	46,847

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

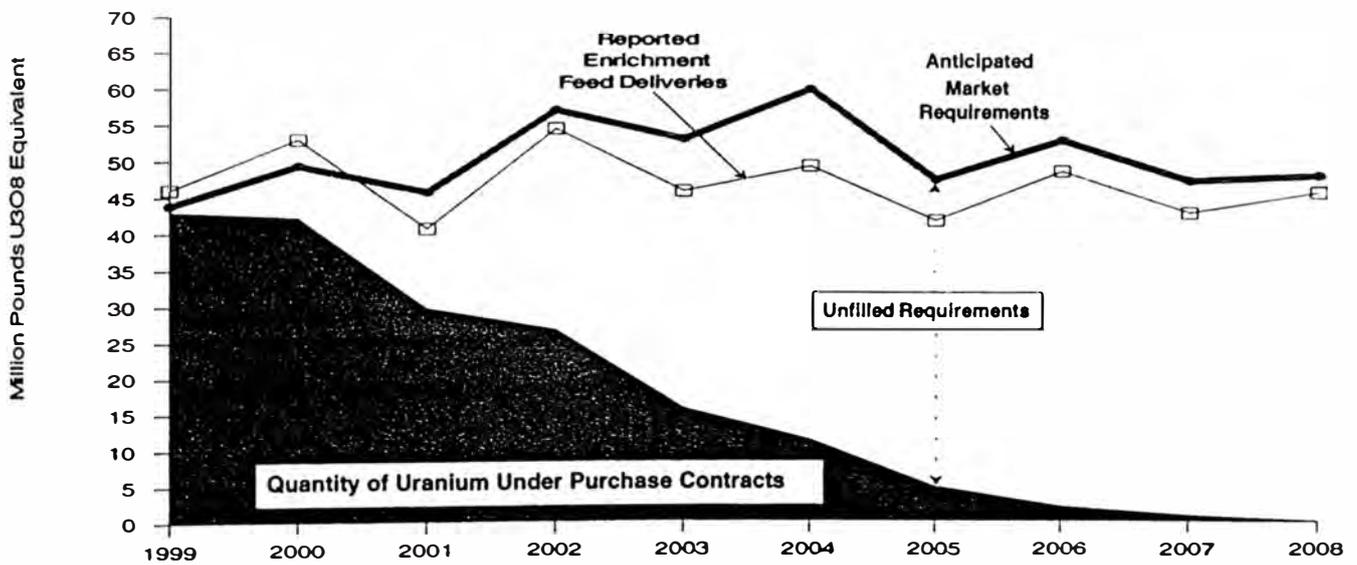
2008, y que tal necesidad acumulativa alcanza a 327.5 Mlb de U_3O_8e . La combinación de ambas cantidades constituyen las necesidades de uranio en la próxima década, alcanzando a 504.3 Mlb de uranio equivalente (Tabla 22). En otras palabras, la Tabla 22 muestra importantes correlaciones sobre U_3O_8e , (1) requerimientos anuales en el periodo 1999-2008, (2) entregas futuras acumulativas, basadas en cantidades firmes y opcionales bajo contratos firmados (“*under purchase contracts*”) que alcanzan a 176.7 Mlb, (3) uranio acumulativo adicional requeridos (“*unfilled requirements*”) que alcanzan a 327.5 Mlb, (4) la suma de ambas cantidades (columnas 2+3) representan las necesidades anticipadas de uranio por las UAs y ascienden a 504.3 Mlb y (5) la proyección acumulativa de entregas de uranio para el proceso de enriquecimiento ascienden a 468.1 Mlb, cantidad a usarse en la producción de energía nuclear. Sinembargo, existiría una deficiencia acumulativa de 36.1 Mlb de U_3O_8e , tal desbalance de oferta y demanda de uranio empieza a mediados del año 2000 (Figura 21), (DOE/EIA-0478 (98) p. 17).

Tabla 22.—Requerimientos Anticipados Futuros de Uranio por las UAs, 1999-2008

Year	Quantity of Uranium Under Purchase Contracts	Unfilled Requirements	Anticipated Market Requirements	Enrichment Feed Deliveries
1999	43,003	863	43,866	46,033
2000	42,233	7,111	49,344	52,976
2001	29,817	15,922	45,739	40,764
2002	26,811	30,212	57,023	54,467
2003	15,785	37,194	52,979	45,843
2004	11,384	48,508	59,892	49,276
2005	4,827	42,577	47,404	41,760
2006	2,072	50,734	52,806	48,562
2007	800	46,441	47,241	42,840
2008	0	47,986	47,986	45,662
Total	176,732	327,548	504,280	468,183

Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Figura 21.—Requerimientos Anticipados del Mercado de Uranio por las UAs, 1999-2008



Source: Energy Information Administration, Form EIA-858, "Uranium Industry Annual Survey" (1998).

Fuente: Energy Information Administration/Uranium Industry Annual 1998

VI. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Este estudio trata sobre recursos, producción, y demanda de uranio; incluyendo inventarios, exportaciones, importaciones, precios, y requerimientos de concentrados (pasta amarilla) para reactores atómicos tipo LWRs. El comercio internacional de uranio está basado en uranio equivalente (U_3O_8e). Las compras y ventas de uranio por parte de los países tanto productores como compradores de concentrados son realizados a precios de uranio equivalente (U_3O_8e). Los E.E.UU. produce concentrados de uranio en libras ($lb U_3O_8$) y los comercia en $\$/lb U_3O_8$ y el resto del mundo produce en kilogramos ($kg U$) y vende concentrados en $\$/kgU$. Sin embargo, para entender la actividad de mercado en la economía globalizada, es necesario tomar en cuenta, las equivalencias correspondientes de producción y precio. Por ejemplo, los recursos de uranio (probadas, probables, y posibles, incluyendo recursos prospectivos y especulativos) y su producción son relacionados de la siguiente manera: $[1 tU \times 1.179 = 1 t U_3O_8e]$ y los precios son expresados como $[\$/kgU = 2.6 \times \$/lb U_3O_8e]$. También este estudio contiene informaciones recientes sobre la oferta, demanda, y condiciones de mercado del uranio a nivel mundial; también incluye las proyecciones de la industria estadounidense en cuanto a su capacidad de producir uranio hasta el año 2008, y la producción y requerimientos de uranio, a nivel mundial y largo plazo, hasta el año 2030. Este estudio correlaciona todos los eventos ya anteriormente señalados, porque el uranio—fuente de energía nuclear, es parte de los recursos energéticos y estratégicos dentro de una economía globalizada, hoy y en el próximo milenio.

Haciendo un poco de historia, uranio fué usado, antes de 1963, exclusivamente para propósitos militares, particularmente en los E.E.UU. y Rusia. Entre 1964 y 1970, hubo una transición de su uso para defensa militar como la producción de proyectiles (“*missiles*”) nucleares hacia usos pacíficos

en medicina y comerciales como la producción de electricidad. Desde 1970, la demanda por uranio es originado exclusivamente dentro del sector privado. Desde enero de 1984, el comercio del uranio refleja las condiciones del mercado abierto a nivel mundial. Desde 1993, Rusia empieza a abastecer uranio para generación eléctrica (Mining Journal, 1999).

Al comienzo de 1995, U_3O_8 e (pasta amarilla” o *yellow cake*”) se vendía al precio de contrato (“*spot market*”) entre \$9.75 y \$10.00 por libra de U_3O_8 e (\$/lb). El “*spot market*” sube a \$11.61/lb en 1997 y se mantiene a \$10.75/lb en 1999 (Mining Journal, 1999). Al final de 1995, el precio en la bolsa abierta (“*open market*”) se cotizaba a \$12.25/lb, y el volumen vendido en el “*spot market*” fué estimado a 42.1 millones de libras (Mlb) de U_3O_8 e. A fines de febrero 1996, el precio subió a \$14.75/lb, y a mediados del mismo año alcanzó hasta \$16.00/lb. Más del 50% de este volumen fué originado en los países que conformaran la Unión Soviética o “*Commonwealth of Independent States*” (CIS). Los productores de energía nuclear o “*American utilities*” (AUs) en los EE.UU., 26 de ellos, compraron 45% de dicho volumen (18.9 Mlb), (Mining Journal, 1996a). En 1997 y 1998, compraron 42.0 Mlb y 42.7 Mlb de U_3O_8 e a un “*open market*” o precio promedio de \$12.88/lb y \$12.14/lb, respectivamente. Se espera que los contratos de largo plazo demanden un precio promedio de \$13.46/lb. La mejora temporal del mercado mundial del uranio fué muy bien recibida, principalmente, en Australia, Canada, CIS (Kazakstan), Francia, y los EE.UU.

En los comienzos de los 1980s, la producción de uranio en los EE.UU alcanzó el nivel de 40 millones de libras por año (Mlb/a), pero la combinación de demanda y precios débiles, así como costos altos de producción, tal volumen disminuyó paulatinamente. En los 1990s, la situación se agravó con la disponibilidad de uranio barato de los países CIS y de Europa del Este, el precio de uranio bajó hasta \$7/lb en octubre 1991, el cual se recupera a \$10.75/lb en abril 1999.

En 1997 y 1998, la producción anual de uranio en los EE.UU. alcanzó a 4.7 y 4.8 Mlb de U_3O_8 , respectivamente. El presidente de los productores de uranio, Dale Alberts, señaló que la producción mundial de uranio solamente cubre el 50% de la demanda actual y que los EE.UU consume al rededor de 40.0 Mlb/a. Alberts dice, con confianza, si el precio actual de uranio se mantiene firme, la producción de uranio aumentaría, particularmente, usando el método de lixiviación (ISL-”*in situ leaching*”). Uranium Resources Inc. de los EE.UU., por ejemplo, estima que el costo de ISL fué al rededor de \$6-\$8/lb (Mining Journal, 1996b). Lo cual dejaría un margen de utilidad entre \$6.75/lb y \$8.75/lb.

En el período 1990-94, la diferencia entre la demanda y producción mundiales de uranio fué enorme, y en 1994, la producción alcanzó a 31,890 toneladas métricas de U (tU), equivalente al 52% de la demanda mundial para reactores atómicos tipo LWRs. Al rededor del 70% fué originado en los países del Hemisferio del Oeste y el balance producido por los países de Europa del Este, CIS, y China. En 1995, NUKEM Inc. de Stamford, Connecticut ha estimado una producción mundial de 32,900 tU comparado con una demanda de 62,650 tU (Mining Journal, 1996c). De acuerdo al “*Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics*,” el consumo actual mundial de uranio está sobre-pasando la oferta, esa diferencia esta proveída por los inventorios existentes, este proceso mantiene el precio de uranio bajo. La producción mundial de uranio en 1997 y 1998 fueron 46,000 y 45,800 tU, respectivamente y para 1999 se estima a un nivel de 48,300 tU. El consumo anual mundial de uranio se espera mantenerse constante a 74,000 tU, lo que permitiría un drenaje de inventorios de 120,000 tU en los próximo 5 años (Mining Journal, 1998b).

En el pasado, la diferencia entre producción y demanda de uranio fué proveída por el gobierno de los EE.UU. de sus reservas estratégicas y el exceso de inventorios de las compañías productoras

de energía nuclear o AUs. Se estima que el exceso de inventarios (75,000 tU) sean agotadas al final de la presente década, de allí el interés de los países CIS de querer ser los proveedores de uranio. NUKEM, un consorcio Germano-norteamericano, proyecta un crecimiento anual del 1.6% de la capacidad generadora de electricidad nuclear a nivel mundial en la próxima década. Lo cual implica, que dicho crecimiento necesitaría uranio adicional a partir de la mitad del año 2000. Naturalmente, en el tercer milenio, suplir tal demanda adicional dependería de la variedad del mercado mundial, costos de producción, y factores tecnológicos y ambientales. Tal demanda adicional podrían ser abastecidos parcialmente, por los excesos de los inventarios de las AUs y los productores de uranio, productos de reciclaje del proceso de enriquecimiento del uranio que fueron acumulados para propósitos militares, y los inventarios Rusos. De acuerdo a NUKEM, de todas maneras existiría la necesidad substancial de producir pasta amarilla a partir del año 2000, tal vez, esto sería una ventana de oportunidad, a corto plazo, para los productores de uranio a nivel mundial (Mining Journal, 1996d). Considerando dicha oportunidad, la firma Cameco Corp. de Australia, por ejemplo, está planeando comenzar dos minas de alto contenido de uranio, MacArthur River y Cigar Lake en Saskatchewan, Canadá. La primera se espera que entre en producción en 1999 y la segunda en 2001 a un cost de \$400 millones cada una; ellas producirían al rededor de 16,300 t/a de uranio. Actualmente, el consumo mundial de uranio es mayor que la oferta, tal consumo está cubierto por los excesos ya mencionados, los mismos que mantienen los precios de uranio relativamente bajos. La producción mundial de uranio para 1999 alcanzaría un nivel de 48,300 tU, el que representaría un incremento del 6% con respecto a la producción de 45,567 tU en 1998. Se proyecta una producción de 45,201 tU en 2000 a 32,102 tU en 2015. Se espera que el consumo mundial se mantenga al rededor de 74,000 tU, reduciendo los excesos estimados de 120,000 tU, en los próximos

cinco años, en 2003 (Mining Journal, 1998). La demanda de uranio a corto plazo está determinada por la capacidad nuclear existente. Sin embargo, existen incertidumbres económicas y políticas a nivel mundial, mejoras y modificaciones a la actual tecnología nuclear pueden afectar los requerimientos de uranio, pero estos factores no deberán tener mayor impacto antes del año 2015. Por esto, los requerimientos de uranio para las plantas existentes continuarán incrementando de 60,488 tU en 1996 a niveles entre 62,500 tU y 82,800 tU por año hasta 2015 (Uranium, NEA-OECD/IAEA, 1997, p. 83).

También concluyo, que la viabilidad económica de un depósito de uranio tiene mucho más sensibilidad a la relación de la profundidad de mena y su ley-potencia; ocurren aumentos substanciales en costos de operaciones cuando los ciclos de precios de uranio son más frecuentes, y los gastos mayores en la industria del uranio fueron en el control de agua, ventilación, y prestación de servicios. Los costos (tablas y figuras) en anexos representan operaciones mineras en cada distrito minero en los EE.UU. y muestran los efectos más importantes en las variables de los costos de producción y molienda. También, debo indicar que cambios inesperados en la oferta y demanda por uranio pueden drásticamente alterar los planes de desarrollo de minas, métodos de extracción, tonelajes, y fecha de terminación de operaciones y/o cierre de minas y plantas concentradoras.

Finalmente, me tomo la libertad de incluir además de mi Certificado de Trabajo, cartas de mis colegas que me han proveído material (tablas y figuras) para que el Informe sobre la Economía Minera del Uranio sea más completo, así como también sus comentarios personales sobre mi desempeño profesional en los Estados Unidos. Dedico este trabajo al “Clan Gurmendi”—mi familia, a mis Alma-maters, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú; Colorado School of Mines, Golden, Colorado y University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, Estados Unidos.

REFERENCIAS CITADAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Mining Journal, 1999, Mineral Markets—Russian uranium sale confirmed: Mining Journal [London], v. 332, no. 8525, April 2, p. 248.
- 1998a, Cameco's uranium mines schedule: Mining Journal [London], v. 330, no. 8466, February 6, p. 104.
- 1998b, Cameco's uranium mines schedule: Mining Journal [London], v. 330, no. 8466, February 6, p. 105.
- 1996a, 1996b, Mining Journal, Uranium on the move: Mining Journal [London], v. 326, no. 8367, March 1, p. 162.
- 1996c, 1996d, 1996e, Window of opportunity: Mining Journal [London], v. 326, no. 8367, March 1, p. 163.
- The OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, 1997, Red Book—"Uranium Resources, Production and Demand" April, 397 p.
- 1999, Draft of the Red Book—"Uranium Resources, Production and Demand" April, 46 p.
- Patterson, John. A., 1997, Uranium Industry Seminar—Uranium issues and policies: An overview [Washington, DC], October 16-17, 16 p.
- NUKEM, 1997, Natural uranium spot market by buyers, Market Report, Stamford, Connecticut, 35 p.
- U.S. Department of Energy, 1999, Energy Information Administration—Uranium Industry Annual 1998: U.S. DOE/EIA-0478 (98), April, 81 p.
- 1998, Energy Information Administration—Uranium Industry Annual 1997: U.S. Uranium Raw Materials Industry [Washington, DC], U.S. DOE/EIA-0478 (97), April, 82 p.
- 1997, Energy Information Administration—Uranium Industry Annual 1996: U.S. Uranium Raw Materials Industry [Washington, DC], U.S. DOE/EIA-0478 (96), April, 82 p.
- Uranium Institute, 1996, The Global Nuclear Fuel Market—Supply and Demand 1995-2015, Uranium Institute, London, United Kingdom, p. 53-60.
- Bukarin, O., 1995, Analysis of the size and quality of uranium inventories in the Russian Federation, NEI International Uranium Fuel Seminar, Williamsburg, Virginia, 45 p.
- Steyn, J., 1997, Impact of Commonwealth of Independent States (CIS) uranium supply on the world market, NEI International Uranium Fuel Seminar, Monterrey, California, 36 p.
- McGraw Hill, 1996, Nuclear Fuel, New York, New York, 26 p.
- TradeTech, 1996, The Nuclear Review, Number 340, Denver, Colorado, 16 p.
- Cox, C., and Roushey, J., 1979, Recovery of Uranium by in-situ solution mining, Mineral Industries Bulletin, CSM/CSMRI, Golden, Colorado.
- Deffreyes, K.M., 1978, Uranium distribution in mined deposits and in the earth's crust, USDOE-GJO GJBX-1-79, Grand Junction, Colorado.
- Dran, J.J., 1977, An examination of interest rates and their effect on valuation of mineral deposits, SME-AIME Mining Engineering, Lakewood, Colorado, 44 p.
- Euratom Supply Agency, 1997, Annual Report 1996, CEC, Luxembourg.
- Gurmendi, A.C., 1979, Cost Elements of the U.S. DOE Uranium Ore Reserves Estimates and Production Capability Analysis, Grand Junction, Colorado, 45 p.
- 1980, U.S. Uranium Industry Cost Study/Exxon Minerals Company, Houston, Texas, 21 p.
- 1981, Highland Mill Alternatives: Tolling vs. Sale, between Exxon Minerals Company and

- Tennessee Valley Authority, New York, New York, 29 p.
- Hayashi, M., and Dolezal, H., 1979, Cost of producing U_3O_8 from ammonium bicarbonate in-situ leach solution by the multiple-compartment ion-exchange system, U.S. Bureau of Mines, PB-299 604, 17 p.
- Heath, K.C., and Kalcov, Inns, 1994, Treatment of inflation in mine evaluation, IMM Transactions, p. A 20.
- International Atomic Energy Agency, 1997a—IAEA Yearbook, Vienna, Austria.
- 1997b, Proceedings of the International Symposium: Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategy: Adjusting to New Realities, Vienna, Austria.
- International Institute for Applied Systems Analysis, World Energy Council, Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond, WEC Report 1995—IIASA, Louxembourg, Austria.
- Perry, A.O., and Gurmendi, A.C., 1998, Reasonable Environmental Regulations and Controls in Latin America for Sustainable Economic Development, SME-AIME Annual Meeting and Exhibit in Orlando, Florida—March 9-11, 8 p.

ANEXOS

Esta sección presenta modelos económicos para métodos convencionales de explotación de minas de uranio, principalmente, en la parte costa de Texas y el Oeste de los Estados Unidos. Tales modelos fueron preparados para Exxon Minerals Company a principio de los 1990s y basados en 28 minas subterráneas y 26 tajos abiertos. Exxon tenía interés de adquirir minas de uranio para su programa energética y nuclear, porque querían permancer como una entidad preponderamente productora de electricidad en base a petróleo, gas natural, carbón, y uranio.

Después de analizar las características geológicas, decidí en la formación arenisca jurásica (“*jurassic sandstone*”), porque la mayoría de los depósitos de uranio están en este tipo de areniscas y localizados en los Estados de New Mexico, Colorado, Wyoming, Washington, Oregon, y Texas. La metodología ha sido la siguiente, para minas convencionales (subterráneas y a tajo abierto) la profundidad considerada fueron 150 pies (ft) o mayores que ésta; las potencias consideradas para desmonte y mena fueron de 35 ft a 50 ft y 10-35 ft, respectivamente; las densidades de mena y roca son de 15-18 pies cúbicos por tonelada métrica (ft³/t) y 14-17 ft³/t, respectivamente; con declives o escarpas (“*slopes*”) de 1:1 hasta 1:2 y relaciones de mena a desmonte o desbroce de 1:4 a 1:10; cortes (“*stripping ratios*”) de 1:10 a 1:30; dilución, 6-20%; extracción de mina, 85-100%; producción por día, 175-5000 toneladas métricas (TPD); movimiento de desmonte, 75-1000 TPD; días de operación anual, 250-350 DPY; guardias o turnos de operación, 2-3 guardias por día (MS); horas netas de operación, 6.5 horas por día; avance de galerías, 4 ft/MS; perforación de desarrollo en galerías, 500 ft/MS; avance de chimeneas para extracción de mena y ventilación, 5 ft/MS; y con una productividad de 7.8 t por hombre-guardia (TMS) y 17.9 TMS para minas subterráneas y a tajo abierto, respectivamente.

Los parámetros económicos fueron, costos de compra de propiedades uraníferas y exploración; capital y costos de operaciones de mina que varían con el tamaño del yacimiento, reservas y leyes de mena, y capacidad de molienda. El plan de mina subterránea incluye el uso mecanizado de cargadores de frente (“*load, haul, and dump*”- LHDs) para el método de cuartos y pilares (“*room and pillar*”) y recuperación de pilares en retirada, y uso de pequeños LHDs en métodos de corte y relleno. El mayor factor para el tamaño de chimeneas es el volumen o cantidad de aire necesario para ventilación considerando radiación y medio ambiente. El plan de mina a tajo abierto considera el uso combinado de palas mecánicas y cargadores de frente con camiones pesados (“*shovel-truck-system*”) para stripping y minado o producción; en la zona de mena, se desarrollan paneles de extracción por voladura o simplemente con caterpillers (“*ripper-cats*”) y el cargado de mena será selectiva para minimizar la dilución.

Las entradas de acceso, de la superficie a la mena, en minas subterráneas son combinaciones de chimeneas verticales, declinados, y túneles en función a la profundidad, y en tajos abiertos son por rampas y carreteras. Normalmente, el acceso a profundidades de 1000-ft es por medio de chimeneas de 14 ft de diámetro, una para producción y otra para ventilación, seguido por una chimenea de 5 ft para la extracción del aire agotado y de gases (“*exhaust ventilation shaft*”). A profundidades mayores 2000-ft la entrada de mina debe ser por dos chimeneas, una mayor de 14 ft para extracción y ventilación, y otra menor de 5-10 ft para extracción de gases.

Los costos de capital o inversiones y operaciones son calculados en función al tamaño de las reservas, contenido de U_3O_8 , y métodos de producción (“*mining methods*”). Los siguientes tópicos fueron considerados, capitales intangibles, como preparación y desarrollo de minas tanto a tajo abierto como subterráneas; capitales tangibles, como plantas de recuperación, abastecimientos de

agua, aire comprimido, y electricidad; facilidades de izaje; edificios para servicios; y costos de operación, como costos de exploración, diseño e ingeniería, producción de mina y molienda, y otros costos indirectos como de administración.

Para determinar el monto total de inversiones en la preparación, desarrollo, y producción de una mina convencional (subterránea y/o a tajo abierto), el conocimiento del depósito es muy importante para determinar el método de extracción e izaje de la mena producida; así como también conocer las características específicas a cada distrito uranífero es igualmente importante, tal como tamaño y extensión del depósito, para establecer la profundidad del nivel más bajo de izaje, establecer si dicho depósito es viable para extracción por tajos, por niveles, y/o por cuartos y pilares. El último método de producción, conocido mundialmente por "*room and pillar*" es usado con bastante frecuencia en el Distrito de Ambrosia Lake en el Estado de New Mexico. Por ejemplo, la mina Ruby en Ambrosia Lake tiene un pique redondo forrado con concreto armado, porque la arenisca que contiene uranio es fracturada y saturada con agua; el desarrollo de la mina fué mecanizada para construir rampas, chimeneas, cruceros, galerías, cámaras de bombeo, despachadores de mena, cuartos de descanso, etc.

Los costos de equipos para desarrollos, preparación, extracción, izaje, transporte de mena a la concentradora, bombeo, ventilación, y otros servicios de mina aumentan en proporción al incremento de producción. Igualmente, los costos tanto de construcción como facilidades para mantenimiento y reparaciones de equipo para perforación, cargío, transporte, y otros servicios son dependientes del método de extracción y de la producción diaria.

Además, en los costos de producción para minas subterráneas, a la mano de obra básica se le aumentó un 35-42% como beneficios, y a los empleados técnicos un 20% más del salario básico. La Tabla 1, en anexos, muestra los estimados de costos de capitales y operaciones para 28 minas

subterráneas localizadas en las montañas rocallosas (“*rocky mountains*”). Las Figuras 1 y 2, en anexos, muestran los costos de operaciones en el “*Colorado Plateau*” y Wyoming.

Los resultados para minas a tajo abierto son las siguientes, los estimados de capitales necesarios fueron basados en las cantidades de desbroce (“*overburden to be stripped*”), de mena y roca minadas (“*ore and associated waste to be mined*”), diariamente; el costo de preparación de mina varía con la topografía de la propiedad, la vegetación existente, y otros factores geomorfológicos; el diseño de áreas para escombros y longitudes de carreteras varían con el tonelaje de mena y desbroce minados, diariamente.

Las Tablas 2 y 3 y figura 3, en anexos, representan modelos que muestran los efectos de las diferentes relaciones de roca y mena (“*stripping ratios*”) o sea profundidad del yacimiento (“*depth*”— D) y la potencia de mena (“*thickness*”— T). La relación D/T viene a ser los “*stripping ratios*.” Los equipos más importantes en un tajo abierto son las palas mecánicas, cargadores de frente (“*front-end loaders*”), y camiones de carga pesada (“*trucks*”). La selección de tamaños de palas y cargadoras y producción diaria influyen sobre la adquisición de camiones, tractores, y otros. Los costos de operación incluyen, por ejemplo, mano de obra considerando un 35-42% adicional por beneficios, energía y otros materiales pertinentes a operaciones de tajo abierto. Tabla 4 y las Figuras 4, 5, 6, y 7, en anexos, representan 26 tajos abiertos por distritos mineros en los Estados de Colorado, Wyoming, Texas, Oregon, y Washington.

Para plantas concentradoras similares, los costos de capital varían con sus ubicaciones y el tonelaje a tratarse. Costos de capital para un molino convencional de 1,000 toneladas métricas por día (TPD) alcanzaron a \$16 millones. Este costo fué basado en dos plantas concentradoras, la primera, Sherwood, perteneciente a Western Nuclear cerca de Spokane, Washington, y la segunda,

Bear Creek de Rocky Mountain Energy en Wyoming. Basado en este costo y un factor de 0.7 de la relación costo/capacidad, el costo para una concentradora de capacidad de 2,000 TPD alcanza a \$26 millones. La relación directa de costo y capacidad es bastante aceptada en un estimado rápido.

$$[\text{Capacidad A/Capacidad B}]^{0.7} = [\text{Costo A/Costo B}]^{1.0}$$

Los costos de operaciones para una planta concentradora para producir uranio como pasta amarilla, generalmente es hecha por dos métodos, lixiviación de carbonato con precipitación cáustica y lixiviación ácida con extracción de solvente por deposición de contra corriente o CCD. Chancado y molienda son los mayores costos de operación de una concentradora por las diferencias en finos y dureza de roca. También las diferencias de menas, carbonosas, salinas, y óxidadas afectan la recuperación de planta y uso de reactivos. Figura 8, en anexos, ilustra los costos de procesamiento en los distintos distritos uraníferos de Estados Unidos.

En un estudio de factibilidad y viabilidad económica de un yacimiento uranífero, también deben ser incluidos costos indirectos, tales como: estudios de factibilidad, planeamiento, y diseño, generalmente estos alcanzan a un 4-6% de los costos de pre-producción; preparación, excavación, y acceso al yacimiento, son al rededor de 6-8% de todos los otros costos del proyecto; para construcciones de oficinas y otras facilidades de servicios, 8-10% de los costos directos del proyecto; administración y otros, 4-7% de todos los costos directos; capital de trabajo para repuestos, inventarios de partes, típicamente se agrega 4-6 meses de costos de producción. Generalmente, los porcentajes altos son aplicados a pequeños proyectos, y comparativamente, los porcentajes bajos son aplicados a proyectos mayores de \$100 millones. Finalmente, el tamaño de empleo y mano de obra para la mina y la concentradora dependen directamente al volumen de producción de mena y uranio concentrado o pasta amarilla.

La producción de uranio por métodos noconvencionales, principalmente con el uso de ISL, el proceso es el siguiente, a una solución ácida-lixivante se agrega dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2), y agua natural (H_2O), el cual se inyecta por medio de pozos al cuerpo mineralizado; a medida que el lixivante se moviliza entrando en contacto con la mena de uranio, el O_2 reacciona y oxida el U_3O_8 a la valencia +6. El uranio oxidado forma un complejo con el CO_2 y el H_2O , el ion soluble uranyl decarbonatado. Esta solución impregnada con uranio se recupera por medio de pozos de producción, usando bombas sumergibles, y que va hasta la planta de tratamiento. El uranio es removido por intercambio iónico, y la solución restante es fortificada con dióxido de carbono y oxígeno, y reinjectada al proceso ISL. Generalmente, la configuración geométrica del proceso ISL contiene cinco pozos (unidad de producción), cuatro de ellos son de inyección y espaciados entre 23 metros (m) y 46 m al rededor del pozo de producción. Todos los pozos sirven, intercambiamente, tanto de inyección como de producción. La profundidad de los pozos son dependientes a la naturaleza de los yacimientos uraníferos. La zona de ISL, con unidades de producción, tiene pozos de monitoreo distanciados 150 m y localizados al rededor de 150 m fuera del perímetro de producción. El proceso ISL genera no relaves y limitadamente afecta el terreno de operaciones. Los efectos potenciales negativos sobre el medio ambiente, con partículas uraníferas, son minimizadas usando el secado al vacío de la pasta amarillenta U_3O_8 .

TABLE 1
UNDERGROUND MINES

Company and Location	State	Reserves In Place		Lbs R	% Dilution/ Mine Rec.	TPO	% Grade	(ft) Depth	(ft) Thickness	B/T Ratio	Capital \$/Ton			Operating Costs \$/Ton			Total Cost
		Tons R	% Grade								Tangible	Intangible	Cost	Capital	Minimng	Manuflng	
ACTIVE MINES (Existing Properties)																	
1. Anconada P/10-8/15, Pequate	NY	.36	.14	1.0	15/90	750/1000	.120	450/600	10/12	45/50	5.25	30.65	2.72	11.60	3.68	48.65	53.90
2. Atlas, Lisbon Valley	UT	1.56	.19	6.0	20/80	500/1000	.160	400/600	10	40/60	1.92	24.37	6.53	9.20	2.92	43.02	44.94
3. Bitter, Schwartzwalder, Golden	CO	4.00	.28	22.0	15/90	600	.240	2000	10/20	200/100	5.25	28.47	10.00	10.20	3.42	52.09	57.34
4. Eastern, Highland	VT	0.6	.189	2.2	15/100	600	.165	550	10/12	55/66	3.11	47.61	0.63	7.52	3.40	79.16	79.16
5. Federal, American, Gas Hills	WV	5.80	.19	22.0	15/85	600	.165	900	10/15	91/65	3.11	44.70	1.00	8.36	5.60	61.66	64.77
6. Kerr, Amos Lake	WV	14.70	.20	60.0	20/85	500/800	.170	1200	12	125	2.46	37.33	0.70	12.65	4.00	51.26	53.72
7. Kerr, Amos Lake	WV	9.00	.21	38.0	20/90	800/1100	.175	1500/1000	12	100/83	3.07	39.91	1.00	8.36	4.79	54.06	57.13
8. Phelps Dodge, Western Nuclear, Jeffrey City	WY	1.67	.15	5.0	15/90	700	.130	1200/1000	12	140/93	3.16	29.25	0.70	12.65	4.60	56.95	61.60
9. Ranchers, Johnny No	WY	1.00	.20	4.0	40/95	700	.190	1400	5/10	80/40	2.37	29.52	0.85	10.94	2.46	34.77	37.14
10. Rio Alcom, Lisbon Valley	UT	0.57	.09	1.0	30/90	175	.080	400	10/15	270/180	2.75	24.00	0.55	16.61	2.88	44.14	46.89
11. Rio Alcom, Lisbon Valley	UT	1.83	.16	6.6	15/85	750	.170	2700	12	50	3.71	37.22	0.54	7.63	4.07	49.96	53.67
12. Salsito-Reserve, L-Bar, Capitolita	WV	1.58	.16	6.0	15/85	600	.170	600	12	50/100	1.53	34.88	1.41	10.94	4.19	51.42	52.95
13. United Nuclear-Henrietta, Amos Lake	WV	5.28	.16	19.0	15/90	2000	.157	600/1200	12	50/100	2.33	29.91	1.45	12.67	4.79	54.82	61.15
14. United Nuclear, Amos Lake	WV	1.50	.20	6.0	20/95	650	.167	600/1200	12	50/100	2.33	29.91	1.45	12.67	4.79	54.82	61.15
15. United Nuclear, Chertrock	WV	16.00	.20	64.0	20/95	2200	.167	1000/1800	12	83/150	6.20	36.91	1.28	9.65	4.43	52.27	56.47
UNDER CONSTRUCTION (Development Is In Progress or Standby)																	
16. Bolun Resources, Marquet	WV	4.00	.15	12.0	15/90	800/1000	.130	1960/2100	12	163/175	6.88	36.12	1.00	9.12	4.31	50.57	65.62
17. Kerr, Kerr, Bill Smith (Ponder River Basin)	WV	7.20	.15	26.0	15/90	750	.130	750/900	12	62.5/75	4.90	25.13	0.95	7.72	4.22	48.02	63.80
18. Kerr, Kerr, Rio Puerco	WV	1.00	.20	4.0	15/90	500	.174	830	10	83	3.31	36.78	1.60	15.62	4.51	58.91	68.43
19. Gulf, San Mateo	WV	18.50E	.25	128.0	20/80	4500	.270	3300	15	220	12.77	61.44	0.80	19.17	7.31	64.87	106.43
20. Phillips, Rose Rock	WV	13.90	.18	50.0	20/80	2500	.150	3400	15	167	8.31	28.28	0.85	12.85	6.31	44.87	52.54
21. United Nuclear, R. Jordan Ranch	WV	-1.39	.18	5.0	15/90	400/700	.157	900	12	75	5.63	38.31	1.00	12.87	6.60	56.84	74.92
PLANNED MINES (Underdeveloped Properties)																	
22. Anconada, Green Pt., E. Crook's Gap	WV	17.39	.23	80.0	20/85	600/2500	.192	2500/3300	10/20	250/165	10.34	42.21	1.00	13.10	5.07	61.36	80.65
23. Conoco, Marquette Project	WV	6.70	.18	24.0	15/85	1360	.156	1966	12	164	9.54	36.04	0.75	12.47	4.33	53.59	69.92
24. Conoco, Marquette Project	WV	2.79	.34	19.0	20/85	500/800	.284	1500/2275	12	125/190	15.65	71.84	0.80	15.91	4.78	61.33	83.16
25. Conoco, Crowpoint	WV	5.54	.18	20.0	20/85	1350	.150	2200	12	113	11.71	31.56	1.00	12.36	4.51	55.43	75.90
26. Phelps Dodge (W. Marquette)	WV	1.25	.20	5.0	15/85	500	.174	700	10	150	10.01	35.22	1.00	14.38	4.23	54.83	74.02
27. Standard Oil (Cherron, McDermitt)	WV	5.67	.15	17.0	15/85	750	.130	1500	10	183	7.96	38.60	1.60	9.65	6.66	54.71	72.82
28. United Nuclear, Dalton Pass	WV	10.00	.15	30.0	20/85	1000/1700	.175	2200	12	183	10.15	38.60	1.60	9.65	6.66	54.71	72.82

ACC:mc
6/4/80

COLORADO PLATEAU UNDERGROUND MINING COST (1980 \$)

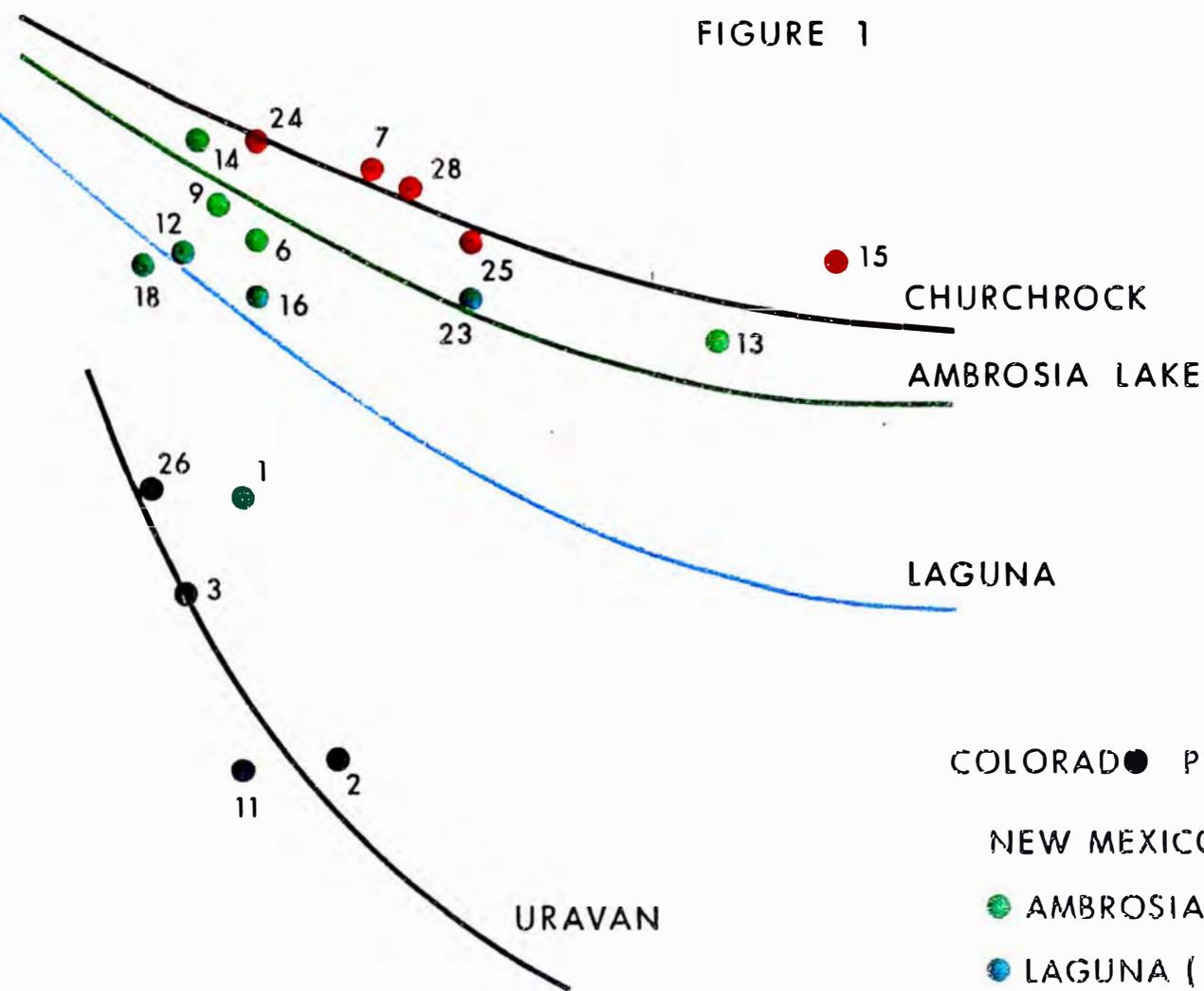
FIGURE 1

\$/TON
↑

40

30

20



CHURCHROCK

AMBROSIA LAKE

LAGUNA

URAVAN

COLORADO ● PLATEAU:

NEW MEXICO:

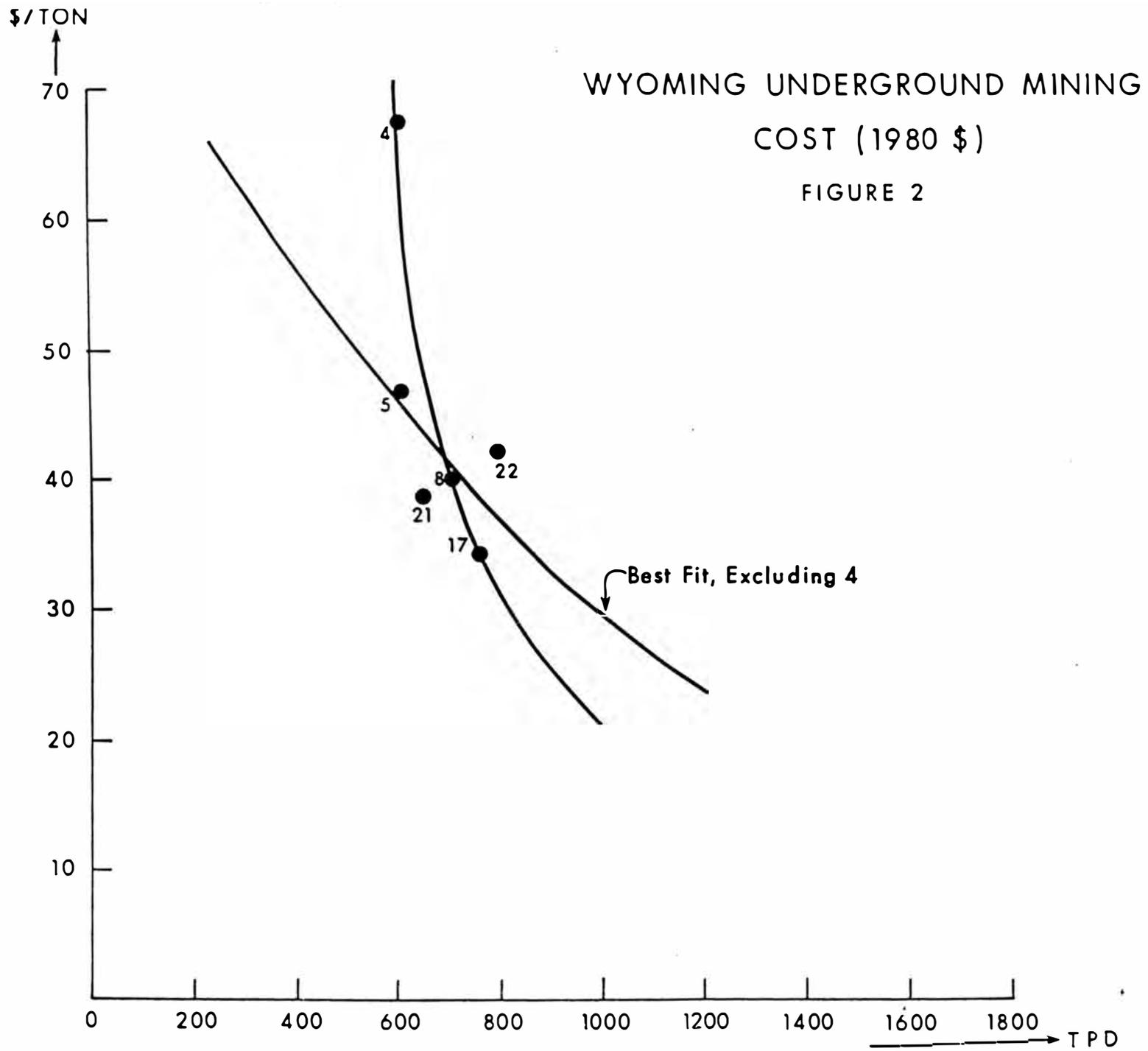
● AMBROSIA LAKE (6, 9, 13 & 14)

● LAGUNA (1, 12, 16, 18 & 23)

● CHURCHROCK (7, 15, 24, 25 & 28)

URAVAN:

● COLORADO & UTAH (2, 3, 11 & 26)



EFFECTS OF STRIPPING (1/1/80)

RESERVES					\$ / CY			TOTAL \$ M			\$ / TON			\$ / LB U ₃ O ₈				
Tons	Grade	Pounds	Thick- ness	Slope	Depth	NM	WY	TX	CY M	NM	WY	TX	NM	WY	TX	NM	WY	TX
500,000	.250	2,500,000	10.0	1.00	300	0.96	0.85	0.65	14.5	13.920	12.325	9.425	27.84	24.65	18.85	5.57	4.93	3.77
					325				16.4	15.774	13.940	10.660	31.49	27.88	21.32	6.30	5.58	4.26
					350				18.3	17.568	15.555	11.895	35.14	31.11	23.79	7.03	6.72	4.76
					375				20.5	19.680	17.425	13.325	39.36	34.85	26.65	7.87	6.97	5.33
					400				22.7	21.792	19.295	14.755	43.58	38.59	29.51	8.72	7.72	5.90
					450				27.1	26.016	23.035	17.615	52.03	46.07	35.23	10.41	9.21	7.05
					500				30.9	32.188	26.265	20.085	64.38	52.53	40.17	12.88	10.51	8.03
					550				35.9	34.464	30.515	23.335	68.93	61.03	46.67	13.79	12.21	9.33
600	39.1	37.536	33.235	25.415	75.07	66.47	50.83	15.01	13.29	10.17								
500,000	.250	2,500,000	10.0	1.25	300	0.96	0.85	0.65	16.4	15.774	13.940	10.660	31.55	27.88	21.32	6.31	5.58	4.26
					325				18.6	17.856	15.810	12.090	35.11	31.62	24.18	7.14	6.32	4.84
					350				21.0	20.160	17.850	13.650	40.32	35.70	27.30	8.06	7.14	5.46
					375				23.6	22.656	20.060	15.340	45.31	40.12	30.68	9.06	8.02	6.136
					400				26.4	25.344	22.440	17.160	50.69	44.88	34.32	10.14	8.98	6.86
					450				31.8	30.528	27.030	20.670	61.06	54.06	41.34	12.21	10.812	8.27
					500				36.4	34.944	30.940	23.660	69.89	61.88	47.32	13.98	12.38	9.46
					550				42.6	40.896	36.210	27.690	81.79	72.42	55.38	16.36	14.48	11.08
600	46.4	44.544	39.440	30.160	92.80	78.88	60.32	18.56	14.78	12.06								
500,000	.250	2,500,000	10.0	1.50	300	0.96	0.85	0.65	18.4	17.664	15.640	11.960	35.33	31.28	23.92	7.07	6.26	4.78
					325				21.0	20.160	17.850	13.650	40.32	35.70	27.30	8.06	7.14	5.46
					350				23.9	22.944	20.315	15.535	45.89	40.63	31.07	9.18	8.13	6.21
					375				27.0	25.920	22.950	17.550	51.84	45.90	35.10	10.36	9.18	7.02
					400				30.3	29.088	25.755	19.695	58.18	51.51	39.39	11.64	10.33	7.88
					450				36.7	35.232	31.195	23.855	70.46	62.39	47.71	14.09	12.48	9.54
					500				42.2	40.512	35.870	27.430	81.02	71.74	54.86	16.20	14.35	10.97
					550				49.5	47.520	42.075	32.175	95.04	84.15	64.35	19.01	16.83	12.87
600	54.1	51.936	45.985	35.165	103.87	91.97	70.33	20.77	18.39	14.07								
500,000	.250	2,500,000	10.0	1.75	300	0.96	0.85	0.65	20.5	19.680	17.425	13.325	39.36	34.85	26.65	7.87	6.97	5.33
					325				23.6	22.656	20.060	15.340	45.31	40.12	30.68	9.06	8.02	6.14
					350				27.0	25.920	22.950	17.550	51.84	45.90	35.10	10.36	9.18	7.02
					375				30.7	29.472	26.095	19.955	58.94	52.19	39.91	11.79	10.44	7.98
					400				34.6	33.216	29.410	22.490	66.432	58.82	44.98	13.29	11.76	8.99
					450				42.2	40.512	35.870	27.43	81.02	71.74	54.86	16.20	14.35	10.97
					500				48.7	46.75	41.395	31.655	93.50	82.79	63.31	18.70	16.56	12.66
					550				57.4	55.10	48.79	37.310	110.21	97.58	74.62	22.04	19.52	14.92
600	62.8	60.29	53.38	40.820	120.58	106.76	81.64	24.12	21.35	16.33								
500,000	.250	2,500,000	10.0	2.00	300	0.96	0.85	0.65	22.8	21.888	19.38	14.82	43.78	38.76	29.64	8.76	7.75	5.93
					325				26.4	25.344	22.440	17.160	50.69	44.88	34.32	10.14	8.98	6.86
					350				30.3	29.088	25.755	19.695	58.18	51.51	39.39	11.64	10.30	7.88
					375				34.6	33.216	29.410	22.49	66.43	58.82	44.98	13.29	11.76	8.99
					400				39.2	37.632	33.320	25.48	75.26	66.64	50.96	15.05	13.33	10.19
					450				48.1	46.176	40.885	31.265	92.35	81.77	62.53	18.47	16.35	12.51
					500				55.6	53.38	47.260	36.140	106.75	94.52	72.28	21.35	18.90	14.46
					550				65.9	63.264	56.015	42.835	126.53	112.03	85.67	25.31	22.41	17.13
600	72.0	69.120	61.200	46.800	138.24	122.40	93.60	27.65	24.48	18.72								

TABLE 3
EFFECTS OF STRIPPING (1/1/80)

Sensitivity	Tons	Grade	Pounds	Thick- ness	Slope	Depth	\$ / CY					TOTAL \$M					\$ / TON					\$ / LB U ₂ O ₈					
							NM		MY		TX	NM		MY		TX	NM		MY		TX	NM		MY		TX	
							Ind.	Highland	Ind.	Felder	Ind.	Ind.	Highland	Ind.	Felder	Ind.	Ind.	Highland	Ind.	Felder	Ind.	Ind.	Highland	Ind.	Felder	Ind.	
A	1,250,000	.200	5,000,000	10.0	1.00	300	0.96	0.77	0.85	0.93	0.65	30.0	28.800	23.100	25.500	27.900	19.500	23.04	18.48	20.40	22.32	15.60	5.76	4.62	5.10	5.58	3.90
						325	33.4	32.064	25.718	28.390	31.062	21.710	25.65	20.57	22.71	24.85	17.37	6.41	5.14	5.68	6.21	4.34					
						350	37.0	35.52	28.490	31.450	34.410	24.050	28.42	22.79	25.16	27.53	19.24	7.11	5.70	6.29	6.88	4.81					
						375	40.7	39.072	31.339	34.595	37.851	26.455	31.26	25.07	27.68	30.28	21.16	7.81	6.27	6.92	7.57	5.29					
						400	44.6	42.816	34.342	37.910	41.478	28.990	34.25	27.47	30.33	33.18	23.19	8.56	6.87	7.58	8.29	5.80					
						450	51.6	49.536	39.732	43.860	47.988	33.540	39.63	31.79	35.09	33.39	25.83	9.91	7.95	8.77	9.60	6.71					
						500	59.2	56.832	45.584	50.320	55.056	38.48	45.47	36.47	40.26	44.04	30.78	11.37	9.12	10.06	11.01	7.70					
						550	66.2	63.552	50.974	56.270	61.566	43.030	50.84	40.78	45.02	49.25	34.42	12.71	10.19	11.25	12.31	8.61					
						600	73.8	70.848	56.826	62.730	68.634	47.970	56.68	45.46	50.18	54.91	38.38	14.17	11.37	12.55	13.73	9.59					
						B	1,250,000	.200	5,000,000	10.0	1.25	300	32.6	31.296	25.102	27.710	30.318	21.190	25.04	20.08	22.17	24.25	16.95	6.26	5.02	5.54	6.06
325	36.5	35.040	28.105	31.025	33.945							23.725	28.03	22.48	24.82	27.16	18.98	7.01	5.62	6.21	6.79	4.74					
350	40.7	39.072	31.339	34.595	37.841							26.455	31.26	25.07	27.68	30.28	21.16	7.81	6.27	6.92	7.57	5.29					
375	45.0	43.200	34.650	38.250	41.850							29.250	34.56	27.72	30.60	33.48	23.40	8.6	6.93	7.65	8.37	5.85					
400	49.6	47.616	38.192	42.160	46.128							32.240	38.09	30.55	33.73	36.90	25.79	9.52	7.64	8.43	9.22	6.45					
450	57.7	55.392	44.429	49.045	53.661							37.505	44.31	35.54	39.24	42.93	30.00	11.08	8.89	9.81	10.73	7.50					
500	66.6	63.936	51.282	56.610	61.938							43.290	51.15	41.02	45.29	49.55	34.63	12.79	10.26	11.32	12.39	8.66					
550	74.7	71.712	57.519	63.495	69.471							48.555	57.37	46.01	50.80	55.58	38.84	14.34	11.50	12.70	13.89	9.71					
600	83.6	80.256	64.372	71.060	77.748							54.340	64.20	51.50	56.85	62.20	43.47	16.05	12.87	14.21	15.55	10.87					
C	1,250,000	.200	5,000,000	10.0	1.50							300	35.3	33.880	27.181	30.005	32.829	22.945	27.11	21.74	24.00	25.26	18.36	6.78	5.44	6.00	6.57
						325	39.8	38.208	30.646	33.830	37.014	25.870	30.57	24.52	27.06	29.61	20.70	7.64	6.13	6.77	7.40	5.17					
						350	44.6	42.816	34.342	37.910	41.478	28.990	34.25	27.47	30.33	33.18	23.19	8.56	6.87	7.58	8.30	5.80					
						375	49.6	47.616	39.192	42.160	46.128	32.240	38.09	30.55	33.73	36.90	25.79	9.52	7.64	8.43	9.22	6.45					
						400	54.9	52.704	42.273	46.665	51.057	35.685	42.16	33.82	37.33	40.85	28.55	10.54	8.45	9.33	10.21	7.14					
						450	64.2	61.632	49.434	54.570	59.706	41.730	49.31	39.55	43.66	47.76	33.38	12.33	9.89	10.91	11.94	8.35					
						500	74.5	71.520	57.365	63.325	69.285	48.425	57.22	45.89	50.66	55.43	38.74	14.30	11.47	12.67	13.86	9.69					
						550	83.8	80.448	64.526	71.230	77.934	54.470	64.36	51.62	56.98	62.35	43.58	16.09	12.91	14.25	15.59	10.89					
						600	94.1	90.336	72.457	79.985	87.513	61.165	72.27	57.97	69.99	70.01	48.93	18.07	14.49	16.00	17.50	12.23					
						D	1,250,000	.200	5,000,000	10.0	1.75	300	38.2	36.672	29.414	32.470	35.526	24.830	29.34	23.53	25.98	28.42	19.96	7.33	5.88	6.49	7.11
325	43.3	41.568	33.341	36.805	40.269							28.145	33.25	26.67	29.44	32.22	22.52	8.31	6.67	7.36	8.05	5.63					
350	48.7	46.752	37.499	41.395	45.291							31.655	37.40	30.00	33.12	36.23	25.32	9.35	7.50	8.28	9.06	6.33					
375	54.5	52.224	41.888	46.240	50.592							35.360	41.78	33.51	36.99	40.47	28.29	10.44	8.38	9.25	10.12	7.07					
400	60.5	58.080	46.585	51.425	56.265							39.325	46.46	37.27	41.14	45.01	31.46	11.62	9.32	10.29	11.25	7.87					
450	72.3	69.408	55.671	61.455	67.239							46.995	55.35	44.54	49.16	53.79	37.60	13.88	11.32	12.29	13.45	9.40					
500	82.8	79.488	63.756	70.380	77.004							53.820	63.59	51.00	56.30	61.60	43.06	15.90	12.75	14.08	15.40	10.76					
550	95.9	92.004	73.843	81.515	89.187							62.335	73.65	59.07	65.21	71.35	49.87	18.41	14.77	16.30	17.84	12.47					
600	105.1	100.896	80.927	89.335	97.743							68.315	80.72	64.74	71.47	78.19	54.65	20.18	16.19	17.88	19.55	13.66					
E	1,250,000	.200	5,000,000	10.0	2.00							300	41.2	39.552	31.724	35.020	38.316	26.780	31.64	25.38	28.02	30.65	21.42	7.91	6.34	7.00	7.66
						325	46.9	45.024	36.113	39.865	43.617	30.485	36.02	28.89	31.89	34.89	24.39	9.00	7.22	7.97	8.72	6.10					
						350	53.0	50.880	40.810	45.050	49.290	34.450	40.70	32.65	36.04	39.43	27.56	10.18	8.16	9.01	9.86	6.89					
						375	59.5	57.120	45.815	50.575	55.335	38.675	45.70	36.65	40.46	44.27	30.94	11.42	9.16	10.12	11.07	7.74					
						400	66.5	63.840	51.205	56.525	61.845	43.225	51.07	40.96	45.22	49.48	34.58	12.77	10.24	11.31	12.37	8.65					
						450	80.0	76.800	61.600	68.000	74.400	52.000	61.44	49.28	54.40	59.52	41.60	15.36	12.32	13.60	14.88	10.40					
						500	91.8	88.128	70.686	78.030	85.374	59.670	70.50	56.55	62.42	68.30	47.74	17.63	14.14	15.61	17.07	11.93					
						550	107.0	102.720	82.390	90.950	99.510	69.550	82.18	65.91	72.76	79.61	55.64	20.54	16.48	18.19	19.90	13.91					
						600	117.1	112.416	90.167	99.535	108.90	76.115	89.93	72.13	79.63	87.12	60.89	22.48	18.03	19.91	21.78	15.22					

ACG/mc
6/20/80

\$/TON

EFFECT OF STRIPPING IN OPEN-PIT MINING (1980 \$)

FIGURE 3

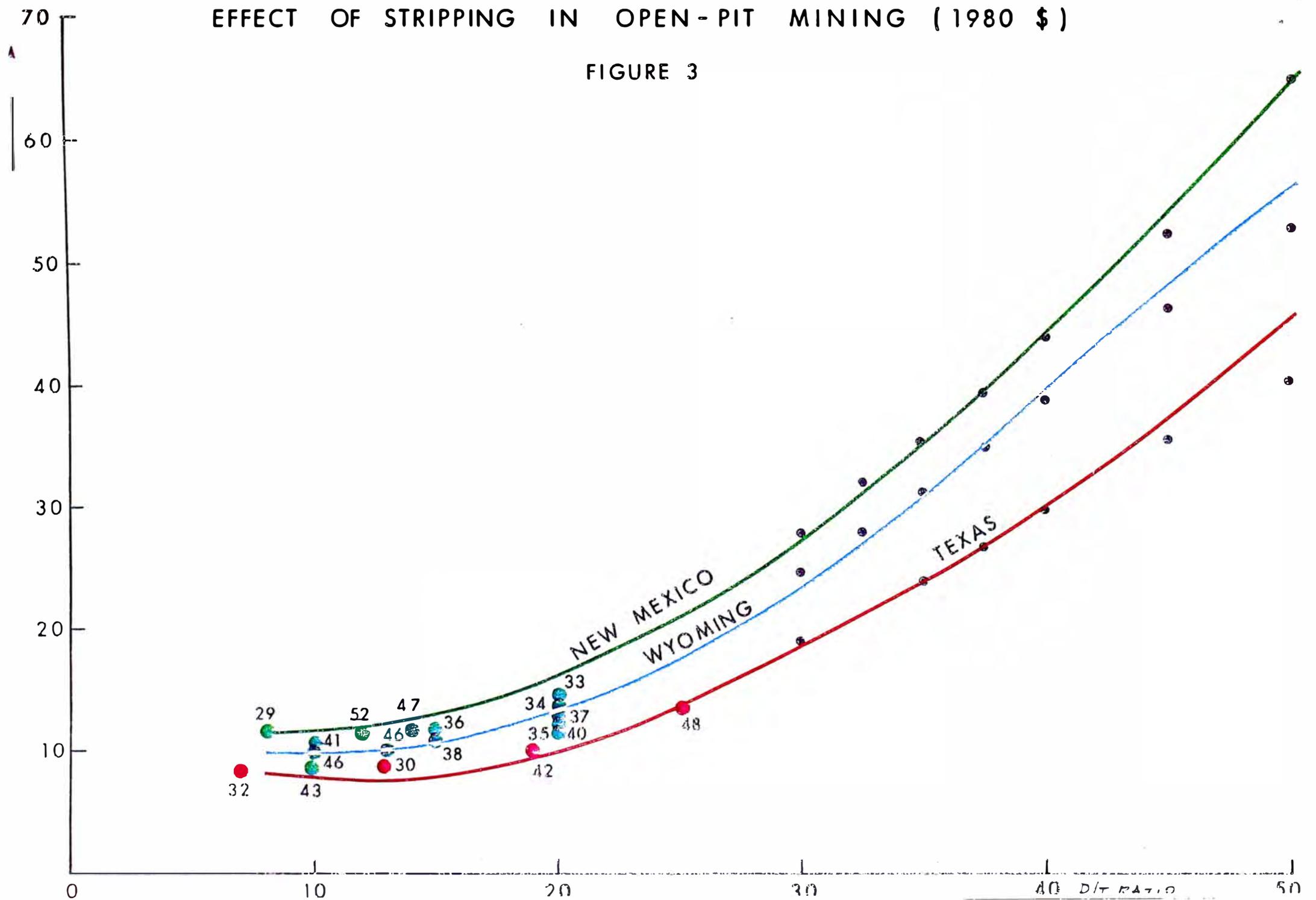


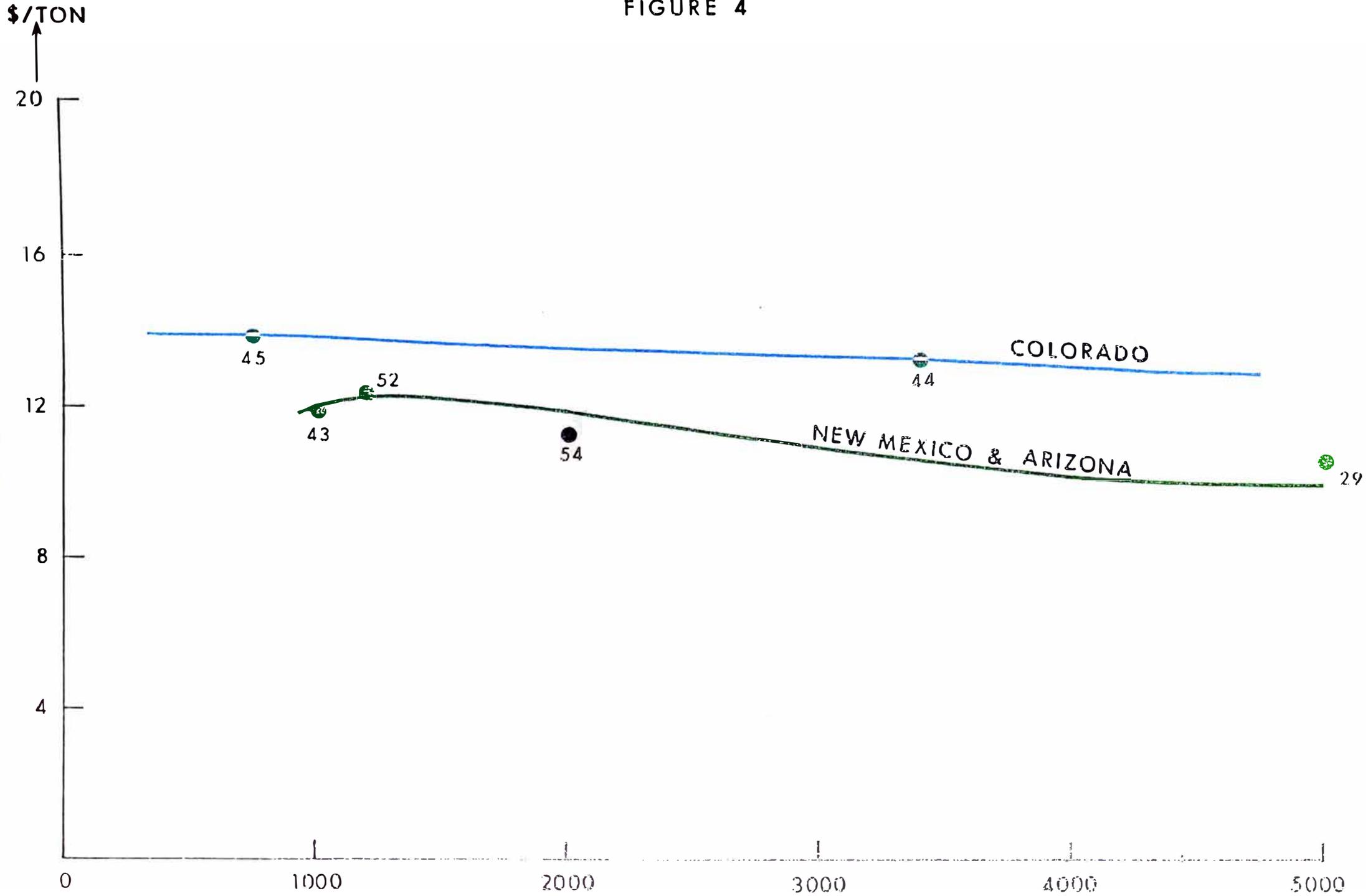
TABLE 4
OPEN PIT

Company and Location	State	Reserves in Place			Production Rate					Capital \$/Ton			Operating Costs \$/Ton				\$/Ton		
		Tons R	% Grade	Lbs R	% Dilution Mine Rec.	TPO	% Grade	(ft) Depth	(ft) Thickness	O/T Ratio	Tangible	Intangible	Capital Cost	Mining	Haulage	Milling	G&A	Operating Cost	Total Cost
<u>ACTIVE MINES (Existing Properties)</u>																			
29. Anaconda, Paguate/Jackpile	MT	11.80	.14	33.0	15/100	5000	.122	100/300	12/50	8/6	1.46	11.76	13.22	10.50	2.72	11.60	1.26	26.08	39.30
30. Conoco-Pioneer, Conquista	Tx	1.00	.10	2.0	20/95	3500	.080	190	10/15	19/13	2.61	9.10	11.71	13.41	4.20	7.88	1.61	27.10	38.81
31. Dawn-Hewmont, Midnite	WA	2.20	.23	10.0	15/100	5007	.200	150/250	10/15	15/17	6.42	11.34	17.76	10.29	2.17	12.50	1.23	26.19	43.95
32. Exxon, Felder	Tx	0.67	.165	2.2	06/100	920	.156	70	10/30	7/2	0.90	8.50	9.40	10.60	7.10	23.90	1.27	42.87	52.27
33. Exxon, Highland	WY	6.71	.097	12.9	20/95	2640	.106	160/400	20	8/20	1.93	14.67	16.60	9.72	0.74	0.20	1.17	19.83	36.43
34. Federal American, Fremont City, Gas Mills	WY	6.25	.12	15.0	15/95	900	.100	200	10/15	20/13	6.64	13.00	19.64	13.28	1.00	8.36	1.59	24.23	43.87
35. General Electric, Pathfinder, Shirley Basin	WY	6.00	.20	24.0	20/95	1500/1600	.158	200/400	10/15	20/27	8.11	12.75	20.86	12.92	1.00	8.36	1.55	23.83	44.69
36. General Electric, Pathfinder, Big Eagle	WY	7.50	.10	15.0	15/100	500/1500	.087	40/300	10/20	4/15	4.85	11.07	15.92	13.39	1.00	8.36	1.61	24.36	40.28
37. General Electric, Pathfinder, Lucky MC	WY	3.75	.20	15.0	20/95	1500/1750	.167	200/300	10/15	20/20	6.43	13.60	20.03	12.38	1.00	8.36	1.48	23.22	43.25
38. Getty, Petrochemicals, Shirley Basin	WY	7.50	.20	30.0	15/100	1000/1500	.174	180/400	12	15/33	6.95	11.90	18.85	13.60	0.60	10.25	1.63	26.08	44.93
39. Phelps Dodge, Western Nuclear, Sherwood	WA	9.50	.10	19.0	15/100	1000/2000	.089	200	12/20/60	17/10/3	4.01	9.56	13.57	12.80	2.17	9.00	1.54	25.51	39.08
40. Phelps Dodge, Western Nuclear, Crooks Gap	WY	3.33	.15	10.0	20/100	1645	.125	200	10/15	20/13	4.82	12.43	17.25	12.92	1.28	8.10	1.55	23.85	41.10
41. Rocky Mountain Energy, Bear Creek	WY	4.23	.13	11.0	20/100	1000/2000	.108	100/280	10/15	10/19	7.45	10.41	17.86	13.80	0.60	9.65	1.66	25.71	43.57
42. Standard Oil (Chevron) Panua Maria	Tx	6.25	.08	10.0	10/100	2500	.073	190	10/15	19/13	3.86	9.90	13.76	11.58	0.56	9.12	1.39	22.65	36.41
43. United Nuclear, St. Anthony	MT	4.21	.095	8.0	20/100	1000	.080	100/300	10/20	10/20	4.48	8.45	12.93	11.89	0.96	15.77	1.43	30.05	42.98
<u>UNDER CONSTRUCTION (Development is in Progress or Standing By)</u>																			
44. Cyprus/Mestinghouse (Wyoming Mineral)	CO	8.82	.17	30.0	15/100	3400	.148	600	6/50	100/12	9.76	11.25	21.01	13.16	1.28	11.59	1.58	27.61	48.62
45. Homestake Mining, Pitch Mine	CO	6.18	.17	21.0	20/95	750	.142	300	12	25	8.98	10.84	19.82	13.89	1.91	12.60	1.67	30.07	49.89
46. Union Oil (Minerex), Red Desert	WY	9.38	.08	15.0	20/100	3000	.067	100/300	10/15	10/20	8.24	9.75	17.99	11.60	0.96	9.62	1.39	23.57	41.56
47. United Nuclear, S. Morton Ranch	WY	4.17	.18	15.0	15/100	1300/1500	.157	170/500	12	14/42	9.59	11.72	21.31	13.10	1.00	12.87	1.57	28.54	49.85
<u>PLANNED MINES (Undeveloped Properties)</u>																			
48. Anaconda, Rhodes Ranch	Tx	2.81	.16	9.0	15/100	500	.139	300	12	25	10.28	13.46	23.74	14.14	1.00	15.00	1.70	31.84	55.58
49. Kerr McGee, Shirley Basin	WY	1.50	.10	3.0	15/100	1000	.087	200/400	15/20	13/20	11.98	10.13	22.11	13.03	1.00	8.37	1.60	24.00	46.11
50. Phelps Dodge (Western Nuclear) Lakeview	OR	2.33	.15	7.0	15/100	750	.131	350/700	10/20	35	10.64	13.27	23.91	13.71	1.60	15.58	1.65	32.54	56.45
51. Places-Amez, McDermitt	OR	14.29	.07	20.0	15/100	3000	.061	400	15	27	11.35	10.15	21.50	11.74	1.00	14.38	1.41	28.53	50.03
52. Sohio-Reserve, L-Bar, Cebolleta	NM	5.71	.14	16.0	15/100	1000/1200	.122	150/300	12	12/25	6.78	11.69	18.47	12.41	1.28	10.77	1.49	25.95	44.42
53. TVA Edgemont	SD	2.00	.12	4.8	15/100	1000/1500	.104	300	12	25	11.75	11.42	23.17	11.96	1.68	11.85	1.44	26.93	50.10
54. Union Oil (Minerex), Anderson	AZ	10.00	.08	16.0	15/100	2000	.075	200	10	20	9.60	10.80	20.40	11.21	0.96	15.15	1.35	28.67	49.07

ACG:mc
6/11/80

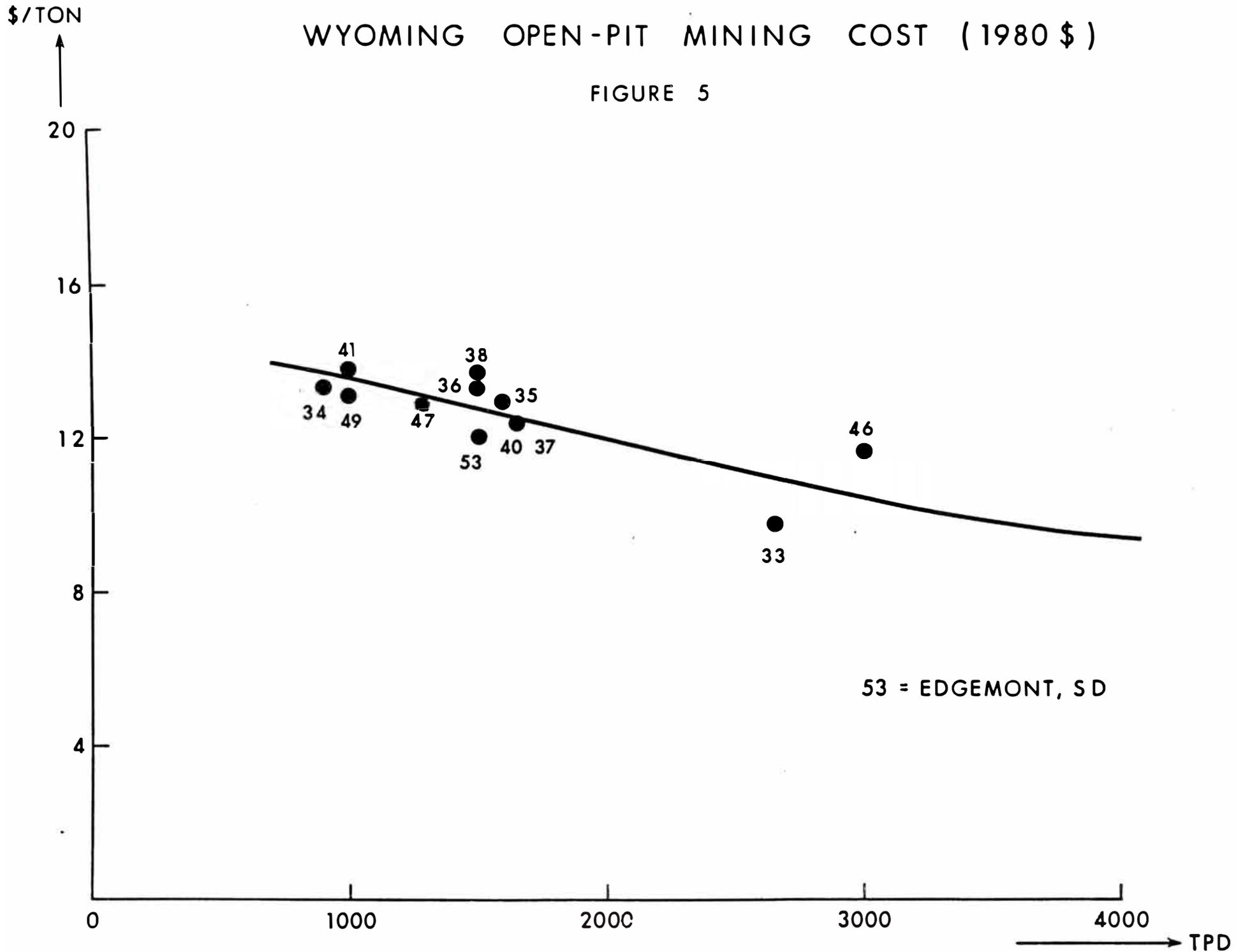
COLORADO PLATEAU OPEN-PIT MINING COST (1980 \$)

FIGURE 4



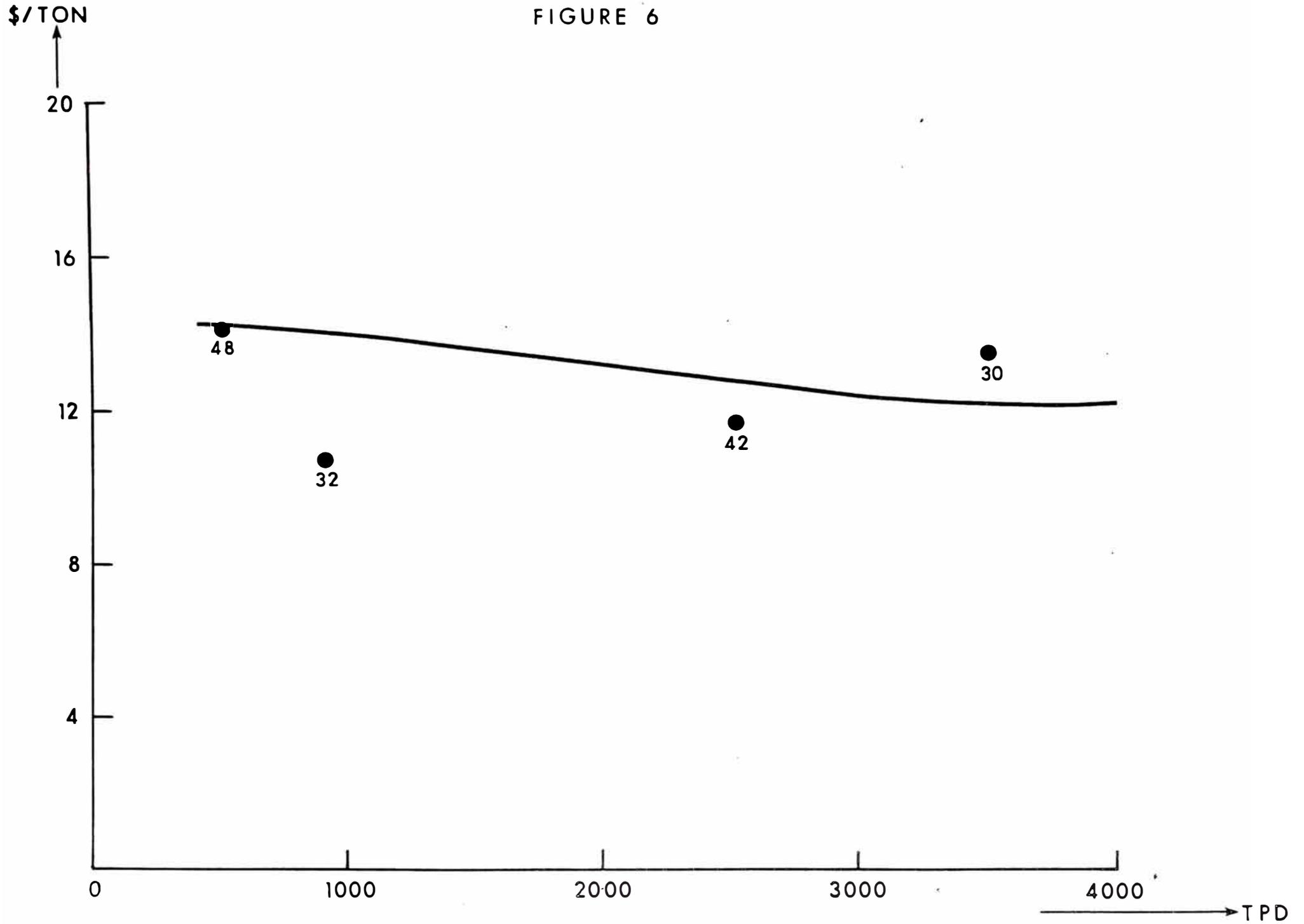
WYOMING OPEN-PIT MINING COST (1980 \$)

FIGURE 5



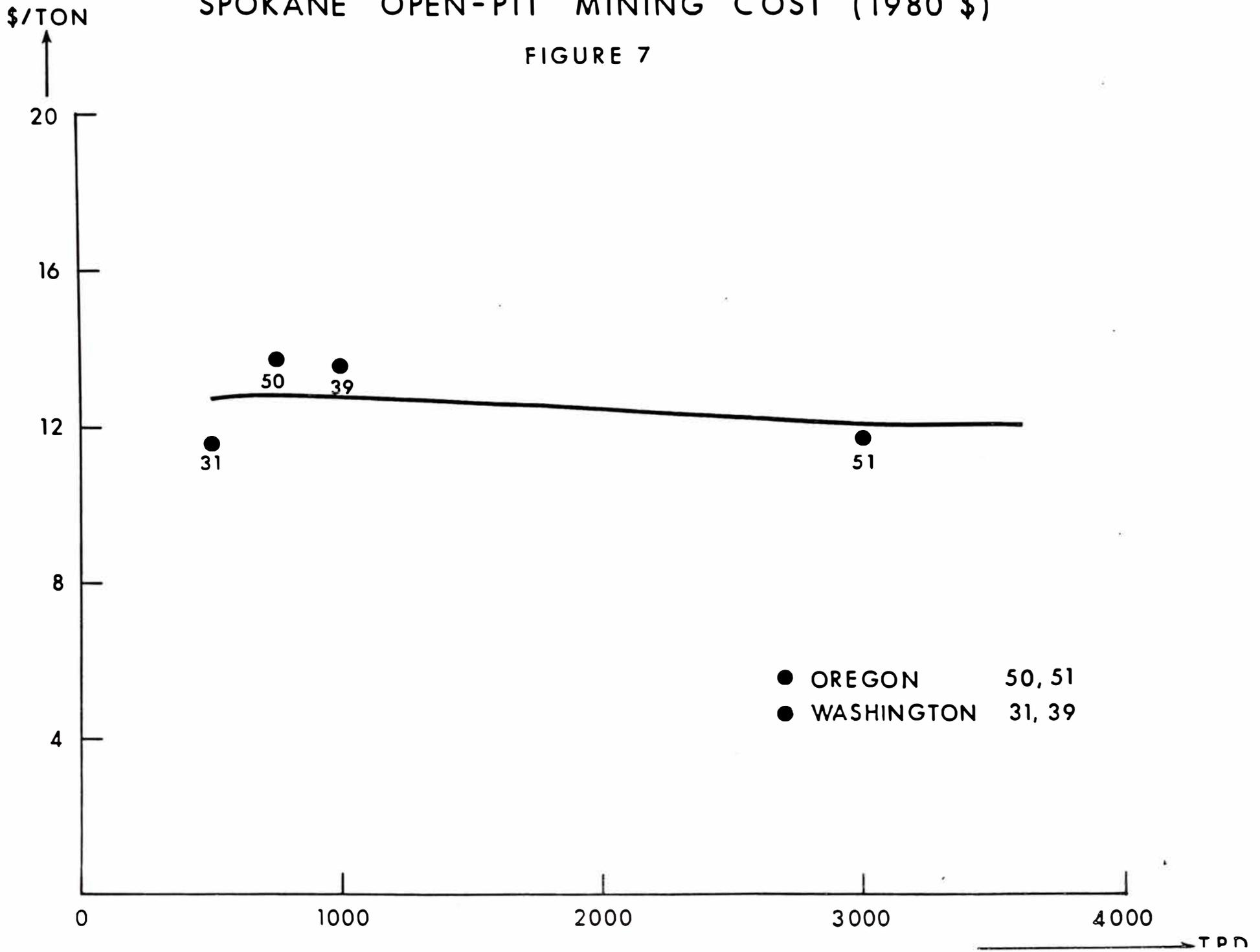
TEXAS OPEN-PIT MINING COST (1980 \$)

FIGURE 6



SPOKANE OPEN-PIT MINING COST (1980 \$)

FIGURE 7



URANIUM ORE PROCESSING COSTS (1980 \$)

FIGURE 8

