



LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE MÉXICO Y EL RETO DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

José de Anda Sánchez¹
janda@ciatej.net.mx

Harvey Shear²
harvey.shear@utoronto.ca

RESUMEN

Debido a que las fuentes accesibles de combustibles fósiles se han ido haciendo cada vez más escasas y se han incrementado los costos de las mismas, México tendrá que confiar en fuentes alternas de energía para la generación de electricidad tales como la construcción de centrales hidroeléctricas. Por otra parte dado que la generación de electricidad a través de la energía solar o eólica, las tecnologías de celdas de hidrógeno y biocombustibles, aún no se han desarrollado lo suficiente o no se han comercializado eficazmente para proveer de electricidad de acuerdo con las necesidades de la población de México, será necesario realizar inversiones estratégicas en este sector con la finalidad de dotar de energías limpias a una población en constante crecimiento.

Palabras clave: México, grandes presas, impactos ambientales, disponibilidad de agua, energías renovables.

ABSTRACT

As readily accessible sources of fossil fuels become more scarce and expensive, Mexico will have to rely on alternative sources of power generation such as hydropower. On the other hand since solar and wind power, hydrogen cells and biofuels technology have not been well enough developed or commercialized effectively to provide sufficient electricity for Mexico's population needs, it will be necessary to make strategic investments in this sector to provide clean energy to a population in constant growth.

Keywords: Mexico, large dams, environmental impacts, water availability, renewable energies.

¹ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Normalistas 800. CP 44270 Guadalajara, Jalisco. México.

² University of Toronto at Mississauga. Department of Geography. 3359 Mississauga Road North, Mississauga, Ontario L5L 1C6 Canada. Tel. 905-569-4382. Fax.905-828-5273. Email:

INTRODUCCIÓN

En la última década del siglo XX se extraían anualmente alrededor de 3,800 km³ de agua dulce de los lagos, ríos y acuíferos del mundo. Esto representa el doble del volumen extraído hace apenas cincuenta años (WCD, 2000). El incremento de la población, el creciente desarrollo económico, el cambio en las tecnologías, la distribución del ingreso y la modificación en los estilos de vida han afectado el nivel de la demanda de agua a escala mundial (WCD, 2000).

Durante el siglo XX se invirtieron alrededor de 2 trillones de dólares en la construcción de 45,000 grandes presas a nivel global (Khagram, 2003). La construcción de las grandes presas – definidas como aquellas que tienen una altura de cortina mayor a 15 m – se han incrementado de manera significativa en los últimos cincuenta años (WCD, 2000). La altura de las presas construidas entre 1940 y 1990 alcanzó un promedio de 30 a 34 m y durante los años 1990s alcanzaron los 45 m debido a las tendencias de construcción de presas, principalmente en Asia. El área y volumen de almacenamiento promedio de las presas ha ido creciendo de manera constante hasta alcanzar los 50 km² en el periodo comprendido entre 1945 y 1970, declinando a 17 km² en los años 1980s para posteriormente incrementarse a 23 km² durante los años 1990s (WCD, 2000).

1. ANTECEDENTES

1.1. Los impactos ambientales de las grandes presas

La primera consecuencia de la construcción de las presas es la fragmentación de los ríos. La fragmentación, en este contexto, se define como la interrupción del curso natural de un río por una presa, trasvase entre cuencas o extracción de agua. La fragmentación es un indicador del grado en el cual los ríos han sido modificados de su curso natural debido a las actividades humanas (WRI, 2000). Muchas áreas del mundo hoy en día se encuentran de manera moderada o fuertemente afectadas debido a los efectos de la fragmentación de los ríos (Revenga *et al.*, 2000).

La construcción de una presa y su subsecuente inundación del área del embalse efectivamente destruye la vegetación modificando drásticamente el hábitat de las especies de animales e induce su desplazamiento. Debido a que para varias especies su hábitat natural se encuentra en la parte baja de los valles; los grandes embalses pueden llegar a destruir el hábitat de especies endémicas amenazadas incrementando con ello su peligro de extinción (Tabla 1). Los esfuerzos que hasta hoy en día se han realizado para mitigar los impactos de las grandes presas han tenido poco éxito (Dynesius y Nilson, 1994; WCD, 2000; Anderson *et al.*, 2000; Van Looy *et al.*, 2003; Jager, 2006). Por otra parte las grandes presas, especialmente aquellas localizadas en climas cálidos, pueden contribuir de manera significativa a la emisión de gases efecto invernadero como resultado de la descomposición anaerobia de la materia orgánica que queda en el fondo del embalse una vez que éste se ha inundado (Khagram, 2003).



Figura 1. Obra de construcción de la presa La Yesca.



Figura 2. Obra de construcción de la cortina de la presa La Yesca.

Tanto las pequeñas como las grandes presas causan diversos impactos en el ecosistema de los ríos, tales como los cambios en el flujo ecológico, cambios en el régimen térmico, captura de sedimentos, incremento de la evaporación, producción de gases efecto invernadero y degradación de la calidad del agua (McCartney *et al.*, 2000). Con la construcción de las grandes presas, los principales cambios a los sistemas fluviales se manifiestan en la alteración de la forma del curso de los ríos y en la inundación permanente del hábitat de flora y fauna. Adicionalmente se incrementa el tiempo de retención hidráulica cambiando de un flujo rápido y continuo de los ríos a uno lento de un embalse, esto causa normalmente una disminución súbita en el número total de especies una vez que se ha construido la presa y se ha formado el embalse. Asimismo muchas especies pierden su hábitat, el río cambia su régimen de forma permanente, se alteran los corredores naturales de biodiversidad por caminos y tuberías, los ecosistemas terrestres se remplazan por zonas litorales lacustres y se sustituyen por hábitat sublitorales, asimismo la circulación de masas de agua pelágica sustituye a los patrones de flujo fluvial (McCartney *et al.*, 2000). La construcción de presas igualmente descompone las estructuras socioeconómicas de las comunidades humanas debido a la pérdida de los usos de suelo de las áreas inundadas o bien a las modificaciones en el régimen fluvial aguas abajo (Robinson, 2002; PIDHDD, 2006).

Tabla 1. Número estimado de especies en México y el mundo (CONABIO, 1998).

<i>Grupo taxonómico</i>	<i>Estado de Jalisco</i>	<i>Estado de Nayarit</i>	<i>México</i>	<i>Mundo</i>	<i>Especies endémicas en México</i>	<i>Especies amenazadas en México</i>
Fauna						
Especies marinas			1,738	13,312	> 260	
Peces de agua dulce			506	8,411	163	10
Aves	481	407	1,054	9,040	111	30
Anfibios	82	107	290	4,019	174	1
Reptiles	31	79	704	6,492	368	13
Mamíferos	197	97	491	4,154	142	30
Invertebrados	1,093	764				10
Plantas						
Fanerógamas	4,878	3,701	9,719	250,000	4,971	56
Pteridofitas			1,100		>190	
Algas y briófitas			4,462		>180	
Hongos			6,000		nd	10

1.2. Disponibilidad del agua en México

En el año 2005 en México se consumía un total de 234.9 km³ de agua por año, de los cuales 158.9 km³ se usaron para la generación de energía eléctrica (67.6%) y 76.5 km³ para usos consuntivos. De éstos el 76.7% se usaron para la agricultura, el 14.0% para el abastecimiento de agua para las poblaciones y el 9.3% para el aprovisionamiento de agua a la industria autoabastecida (con pozos de agua propios) (CONAGUA, 2007). En el país cerca del 56% del abasto de agua para la agricultura se pierde por malas prácticas de riego agrícola y bajo nivel de tecnificación en los sistemas de riego, y el 44% se pierde a través de las fugas en el sistema de tuberías para el abastecimiento de agua para la población que vive en zonas urbanas (CONAGUA, 2007). Adicionalmente del 13.9% de agua que se destina para la población, únicamente el 0.35% realmente se destina para el uso doméstico (CONAGUA, 2007), lo cual significa que la mayor parte del agua que llega a las ciudades se utiliza en la industria, comercio y otros servicios públicos.

En general en México se ha experimentado una progresiva reducción en la disponibilidad del agua, particularmente en el centro y norte de país. Las condiciones climáticas en dos terceras partes del territorio nacional son desde climas cálidos y semiáridos hasta desérticos con la coyuntura de que la mayor tasa de crecimiento de la población del país se concentra en estas regiones. Esto ha dado como resultado un uso intensivo de los acuíferos y aguas superficiales en el centro y norte del país, lo cual contribuye notablemente a la reducción progresiva de las reservas de agua para cubrir las necesidades de la población (CONAGUA, 2007).

1.3. Situación de las presas en México

Se estima que en México se utilizan diariamente 234.9 km³ de agua dulce de los cuales 158.9 km³ se usan para la generación de electricidad (67.6%) y 76.5 km³ (32.4%) para usos consuntivos tales como la agricultura, suministro doméstico e industrial. Desafortunadamente alrededor del 56% del agua que se utiliza en la agricultura, se pierde debido a malas prácticas de riego y a la baja aplicación de tecnología agrícola; y el 44% del agua que se suministra a la población para usos domésticos, se pierde debido a

la falta de mantenimiento de la infraestructura hidráulica. Adicionalmente, la población de México continúa creciendo y la disponibilidad media de agua se ha reducido dramáticamente del año 1950 al 2010 (de 17,700 a 3,990 m³/persona/año). Esta situación ha generado una condición de presión hídrica sobre el recurso disponible, particularmente sobre las fuentes de agua subterránea en la parte occidental, central y en el norte de México. Una solución que mitigaría parte de la presión hídrica es reduciendo la demanda mejorando las medidas de conservación y reduciendo el desperdicio de agua (CONAGUA, 2007).

México es un país con tan sólo algunos lagos naturales de pequeñas dimensiones. La capacidad de almacenamiento de los principales lagos de México apenas llega a 10.35 km³ (CONAGUA, 2007). Desde el siglo XIX el gobierno mexicano ha ido solventando las carencias de agua construyendo presas a fin de proveer agua y energía renovable a los ciudadanos. Debido a que la topografía de México es muy conveniente para la construcción de presas; hoy en día existen 4,000 presas de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD por sus siglas en inglés). Como se había mencionado estas presas utilizan 158.9 km³ de agua para la generación de energía eléctrica (más del 12% de la energía producida en México) y almacenan el agua para la irrigación de 6.3 millones de hectáreas de tierra agrícola (CONAGUA, 2007).

Cabe señalar que la ICOLD define como “grandes presas” aquellas con una altura de cortina mayor a los 15 m. Por pequeñas presas se entiende aquellas cuyas cortinas alcanzan una altura entre los 10 y los 15 m y en donde se deben cumplir otros requerimientos tales como un ancho mínimo de 500 m, o más de 1 millón de m³ de capacidad de almacenamiento, o más de 2,000 m³/s de capacidad de desalojo de agua (WCD, 2000).



Figura 3. Cortina de la presa de Aguamilpa.

Con las presas construidas en el país, en el 2005 la capacidad de almacenamiento de agua alcanzó los 150 km³. Es importante resaltar que el 70% de esta capacidad se encuentra en 51 de las grandes presas localizadas principalmente en el sur del país (CONAGUA, 2007). En México sólo algunas cuencas tienen las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrológicas necesarias para la construcción de grandes presas para la producción de energía eléctrica.

La principal razón por la cual se construyen presas en México es para contar con la infraestructura hidráulica necesaria para la producción de energía eléctrica. Asimismo a lo largo de la red hidrológica nacional se han construido una cantidad importante de pequeñas presas, diques, bordos, acueductos y canales para el desarrollo de sistema de riego para la agricultura y para el aprovisionamiento de agua para poblaciones rurales y zonas de mayor concentración urbana (CONAGUA, 2005; Cotler y Gutiérrez, 2005).

En el año 2005 México ocupó el lugar número 16 como generador de energía eléctrica a nivel global, produciendo el 1.3% del total de la generación y consumo mundial. El consumo de energía eléctrica en México se ha incrementado notablemente en los últimos años hasta alcanzar arriba del 60% de crecimiento en la pasada década; asimismo el consumo de combustibles fósiles se ha incrementado en un 60% a fin de satisfacer la creciente demanda de consumo (Tabla 2).

Tabla 2. Generación y consumo de energía eléctrica en México en billones de kilowatts-hora, 1990-2005 (EIA, 2007).

Electricidad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Generación neta	116.6	120.5	123.8	129.4	139.7	144.9	154.5	166.1	172.3	182.5	193.9	198.6	204.2	206	212.1	222.4
Hidroeléctrica	23.24	21.64	25.91	25.97	19.85	27.25	31.13	26.17	24.38	32.45	32.8	28.22	24.7	19.68	24.95	27.46
Nuclear	2.79	4.03	3.72	4.68	4.03	8.02	7.48	9.94	8.8	9.5	7.81	8.29	9.26	9.98	8.73	10.27
Geotérmica/solar/ viento/biomasa	4.87	5.16	5.51	5.58	5.32	5.39	5.45	5.2	5.69	5.86	6.07	5.81	5.62	8.34	8.68	9.45
Térmica convencional	85.67	89.65	88.69	93.12	110.5	104.3	110.4	124.8	133.4	134.7	147.2	156.3	164.6	168	169.7	175.2
Consumo neto	100.2	102.9	105.8	109.7	118.2	122	130.9	142.8	146.8	156	167.3	168.5	173.1	171.8	175.8	183.3
Importaciones	0.59	0.62	0.99	0.85	1.07	1.15	1.32	1.5	1.05	1.05	2.15	0.37	0.56	0.39	0.42	0.47
Exportaciones	1.95	2.12	2.02	1.99	2.01	2.26	1.26	0.02	0.01	0.01	0.08	0.1	0.24	1.07	1.2	1.6

2. ANÁLISIS

En la última década en México ha habido solamente un moderado incremento en la capacidad de generación de energía eléctrica, sin embargo, hoy en día están en planeación o en construcción una cantidad importante de obras de infraestructura para satisfacer la demanda futura de país. En el año 2003, el 75% de la capacidad instalada para la generación de energía eléctrica procedía de plantas termoeléctricas basadas en el uso de combustibles fósiles, pero muchas de éstas ahora se encuentran en etapa de reconversión a fin de usar gas natural y con ello reducir las emisiones de bióxido de carbono (SENER, 2003).

Seguido en capacidad de generación de energía eléctrica están las centrales hidroeléctricas, las cuales producían el 20% del consumo nacional en el año 2003. Un resumen histórico en la capacidad de generación de energía eléctrica se muestra en la Tabla 3 (EIA, 2007). El futuro sin embargo parece que puede modificar drásticamente las tendencias tecnológicas para la generación de energía eléctrica, ya que la presión en el precio global de los hidrocarburos se ha incrementado de manera considerable, debido fundamentalmente a la disminución de las reservas de petróleo crudo a nivel global y a los conflictos políticos en los países productores de hidrocarburos (Alekketa *et al.*, 2010). Esta situación afecta igualmente a México como uno de los países productores de petróleo crudo (ASPO, 2006). Por otra parte las reservas en otros combustibles en México como el uranio, no garantizan que pueda ser viable su aplicación para satisfacer demandas futuras dada su costosa inversión para su explotación y purificación (Medina-Ross *et al.*, 2005; OECD, 2006) y a los importantes riesgos ambientales y de seguridad

que conlleva el uso de esta tecnología (Zhang, 2010); debido a ello la expectativa más inmediata es la construcción de plantas hidroeléctricas a fin de lograr los objetivos de producción para los próximos años en el país.

Tabla 3. Capacidad instalada para la generación de energía eléctrica en México en millones de kilowatts, 1990-2005 (EIA, 2007).

Fuente de generación	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Hidroeléctrica	7.76	7.88	7.993	8.068	8.171	9.121	9.329	10.034	10.034	9.703	9.633	9.634	9.636	9.628	9.643	10.565
Nuclear	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	1.308	1.309	1.309	1.309	1.309	1.368	1.365	1.365	1.365	1.365	1.365
Geotérmica/solar/viento /biomasa	0.7	0.7	0.72	0.73	0.74	0.764	0.764	0.756	0.763	0.765	0.766	0.871	0.856	0.862	0.979	0.979
Térmica convencional	18.872	19.012	20.682	20.975	22.427	23.909	24.457	25.516	26.019	26.677	27.23	28.648	31.68	33.956	37.559	38.954
Capacidad total	28.007	28.267	30.07	30.448	32.013	35.102	35.859	37.615	38.125	38.454	38.997	40.518	43.537	45.811	49.546	51.863

3. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

México está disminuyendo paulatinamente sus reservas energéticas, por lo que resulta indispensable establecer estrategias de mediano y largo plazo que permitan la viabilidad energética del país en los próximos años. Por otra parte la presión internacional para reducir la emisión de los gases efecto invernadero continuará sobre México como uno de los países firmantes del protocolo de Kyoto (Díaz-Bautista, 2008). Por lo tanto resulta indispensable disminuir la brecha científica y tecnológica que hoy en día existe en México en cuanto al aprovechamiento de otras fuentes de energía (Lund, 2007). Una estrategia viable para ello sería diversificar los fondos de investigación que tienen comprometidos el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con la Secretaría de Energía (CONACYT-SENER, 2013), los cuales están fundamentalmente dedicados a los temas de exploración, producción y refinación. Tal diversificación permitiría apoyar proyectos estratégicos para acelerar la investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la producción de energías renovables que requerirá el país necesariamente para su desarrollo en las próximas décadas (Dechezleprêtre *et al.*, 2009).

BIBLIOGRAFÍA

- Alekletta, K., Hööka, M., Jakobssona, K., Lardellib, M., Snowdenc, S., Söderbergha, B. (2010): The Peak of the Oil Age – Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008. *Energy Policy*. 38(3): 1398–1414.
- Andersson E., Nilsson, C., Johansson, M.E. (2000) : Effects of river fragmentation on plant dispersal and riparian flora. *Regulated Rivers: Research and Management*. 16: 83-89.
- Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO). (2006): *Trend lines peak oil depletion scenarios*. Association for the Study of Peak Oil and Gas. Disponible en: <http://www.peakoil.ie/newsletters>. Consultado: Mayo 30, 2008.
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP). (1997): Central hidroeléctrica de Aguamilpa (México). Aprovechamientos Hidroeléctricos No 24. *Revista de obras públicas*. 144(3363): 116-117.España. Disponible en:

http://ropdigital.ciccp.es/public/detalle_articulo.php?registro=17939. Consultado: Mayo 30, 2008.

CONACYT-SENER (2013): Fondo sectorial CONACYT- Secretaría de Energía-Hidrocarburos SENER-CONACYT. Disponible en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/InvestigacionBasicaAplicada/FondosSectorialesEnergia/Hidrocarburos/Paginas/Convocatorias.aspx>. Consultado: Abril 30, 2013.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998): *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. México. 341 pp.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2007): *Estadísticas del Agua en México. Síntesis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua. Mexico. 158 pp. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>. Consultado: Mayo 30, 2008.

Cotler, H., Gutierrez, S. (2005): *Inventario y evaluación de presas de la Cuenca Lerma-Chapala*. Instituto Nacional de Ecología. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México, D. F. México. 16 pp.

Dechezleprêtre, A., Glachant, M., Ménière, Y. (2009): Technology transfer by CDM projects: A comparison of Brazil, China, India and Mexico. *Energy Policy* 37(2): 703-711.

Díaz-Bautista, A. (2008): Un Análisis Económico Político para México del Protocolo de Kyoto. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*. 1(1):1-20. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/01/adb.htm>. Consultado: Abril 30, 2013.

Dynesius, M., Nilsson, C. (1994): Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science*. 266(5186):753-762.

Energy Information Administration (EIA). (2007): *International data*. Energy Information Administration. Official Energy Statistics from the U. S. Government. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html>. Consultado: Mayo 30, 2008.

Jager, H.I. (2006): Chutes and ladders and other games we play with rivers: upstream passage. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 63: 165-175.

Khagram, S. (2003): Neither temples nor tombs: A Global analysis of large dams. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 45(4): 28-37.

Lund, H. (2007): Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*. 32: 912-919.

McCartney, M.P., Sullivan, C., Acreman, M.C. (2000): *Ecosystem impacts of large dams*. Center for Ecology and Hydrology, UK. The World Conservation Union. Paper prepared for thematic review. En: *Dams, ecosystem functions and environmental restoration*. World Commission on Dams, <http://www.wca-infonet.org>

- Medina-Ross, J.A., Mata-Sandoval, J.C., López-Pérez, R. (2005): Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resources Forum*. 29: 308-321.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2006): *Nuclear power in NEA member countries. Mexico*. Organization for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Agency. 571-588 pp.
- Plataforma Interamericana de Derechos Humanos, Democracia y Desarrollo (PIDHDD). (2006): *Report of civil society organizations on the situation of economic, social, cultural and environmental rights in Mexico (1997-2006)*. 183 p. Disponible en: http://www2.ohchr.org/english/bodies/cescr/docs/info-ngos/mexico-coalition_En.pdf. Consultado: Mayo 30, 2008.
- Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., Payne, R. (2000): Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems. Washington D.C. World Resources Institute. Based on Nilsson, C, M Svedmark, P Hansson, S Xiong, and K Berggren 2000. "River fragmentation and flow regulation analysis" Unpublished data. Umeå, Sweden: Landscape Ecology, Umeå University. Basin boundaries are from Fekete, B, C J Vörösmarty, and W Grabs 1999. Global, Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balance. World Meteorological Organization Global Runoff Data Center Report No. 22. Koblenz, Germany: WMO-GRDC.
- Robinson, S. (2002): *The experience with dams and resettlement in Mexico*. Prepared for Thematic Review 3: Displacement, resettlement, rehabilitation, reparation and development. Department of Anthropology, University Metropolitana, Mexico. 14 p. Disponible en: <http://www.dams.org/docs/kbase/contrib/soc2002.pdf>. Consultado: Mayo 30, 2008.
- Secretaría de Energía (SENER). (2003): *Prospectiva del mercado de gas natural 2003-2012*. Secretaría de Energía. Dirección General de Formulación de Política Energética. México. 131 p. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/prospecgas_natural2003.pdf. Consultado: Mayo 30, 2008.
- Van Looy, K., Honnay, O., Bossuyt, B., Hermy, M. (2003): The effects of river embankment and forest fragmentation on the plant species richness and composition of floodplain forest in the Meuse Valley, Belgium. *Belgian Journal of Botany* 136: 97-108.
- World Commission on Dams (WCD). (2000): *Dams and development: A new framework for decision-making*. The report of the world commission on dams. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, Virginia, USA, 356 p.
- Zhang, X.P. (2010): *Restructured electric power systems: analysis of electricity markets with equilibrium models*. John Willey & Sons, Inc. IEEE Press Series on Power Engineering. 307 p.