

**EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO  
EN LA PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

TEMA: Planificación de Recursos Hídricos

**Luis Gerardo Castillo Elsitdié<sup>1</sup>**  
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

**RESUMEN**

En este artículo se presentan los problemas actuales de la planificación de los recursos hídricos, interrelacionado con el cambio climático, el desarrollo sostenible y la nueva corriente de la economía del cambio tecnológico, analizando los diferentes conceptos a nivel general y descendiendo finalmente a nivel de país. Se destaca que la "estabilidad" de las naciones en un sentido muy amplio (poblacional, político-económico-social y de protección contra los riesgos naturales) constituye un prerequisite fundamental al desarrollo sostenible.

Puesto que el dominio del agua constituye un recurso estratégico de enorme peso específico en la economía de un país, su gestión debe interrelacionarse totalmente con las políticas económicas, científicas y tecnológicas. En este contexto, todas las conclusiones de la nueva corriente de la Economía del Cambio Tecnológico, son de total aplicación. Así, el grado de desarrollo y la productividad de un país dependerá en gran medida en que dichas políticas fomenten y favorezcan la innovación tecnológica.

Finalmente se concluye que con el Desarrollo Sostenible, los tres grandes objetivos estratégicos para el desarrollo [Eficiencia, Equidad y Entorno (Medio Ambiente)], constituyen objetivos complementarios, cuya solución nos permitirá conseguir un equilibrio adecuado a nivel mundial.

**ABSTRACT**

In this paper are shown the present problems of the water resources planning, interrelated with the climatic change, the sustainable development and the new trend of the technological change economy, analysing the different concepts at general level and descending finally to country level. It is stand out that the stability in a wide sense (population, politics-economic-social and the protection against natural risk), constitute a prerequisite to sustainable development.

Since the water domain constitute a strategic resource of an enormous specific weight in a country economy, its management have to be interrelated with the economics, scientists and technological policy. In this context, every conclusion of the new trend of the technological change economy are of full applications. So, the development degree and a country production will depend on the politic foment and favour to the technological innovation.

Finally is concluded that with the sustainable development, the three important strategic objectives for development [Efficiency, Equity and Environment], constitute complementary objectives, whose solution will let us obtain an adequate equilibrium at world wide level.

**1. INTRODUCCIÓN**

El agua es el soporte y el componente principal de los seres vivos, no hay vida sin agua; así, el agua juega un rol clave no solamente en la evolución de la vida, sino también en la sustentación de la

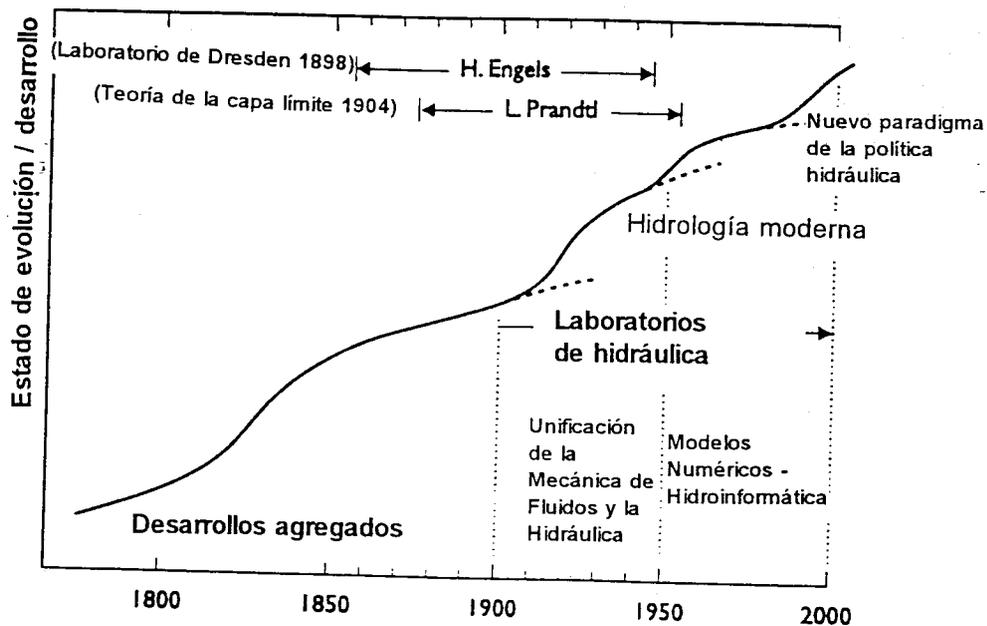
---

<sup>1</sup> SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A. Parque Tecnológico de Madrid. c/ Severo Ochoa nº 4. 28760 Tres Cantos - Madrid. ESPAÑA. Asesor del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador.

misma. Por otra parte, el agua interviene prácticamente en todos los procesos productivos, de forma directa o indirecta, siendo por tanto indispensable para la actividad económica. El agua es, además, un recurso escaso, que con frecuencia no está disponible de forma natural en el sitio y en el momento que se necesita.

En general, la evolución del dominio del agua parece seguir unas reglas bastantes similares a los "ciclos de vida del producto", a los ciclos de los mercados, así como a las leyes que controlan la dinámica de los grandes sistemas [Glazik, G. (1996)]. El desarrollo de los ciclos en el dominio hidráulico se pueden interpretar de la siguiente manera:

- El desarrollo histórico podría representarse por una secuencia cíclica de fases evolutivas y revolucionarias (ver figura 1).
- Los eventos revolucionarios más representativos en los últimos cien años son: el establecimiento de los laboratorios hidráulicos, la unificación de la mecánica de fluidos y la hidráulica (principalmente por la teoría de la capa límite y la modelización hidráulica a escala) y el desarrollo de la hidroinformática (transformación de la información del dominio acuático en respuestas útiles a los problemas de ingeniería hidráulica).



**FIGURA 1.** Desarrollo del dominio de la hidráulica como una serie de sucesos [Adaptado y complementado a Glazik (1996)].

Hasta la década de 1930, la hidrología permaneció como una ciencia llena de empirismo, con descripciones de tipo cualitativo y con poco entendimiento global del proceso continuo. En esa época, investigadores como Sherman y Horton iniciaron una aproximación más teórica y cuantitativa del fenómeno, ofreciendo explicaciones del comportamiento cuenca-río. El gran impulso a las inversiones públicas en infraestructura hidráulica llevados a cabo en Estados Unidos, con el objeto de afrontar la "gran depresión económica", constituyó el origen de la hidrología moderna -el inicio de un "nuevo paradigma" científico-tecnológico.

Actualmente, la aparición de nuevos actores y nuevos argumentos han avocado a un "Período de Crisis" en la política hidráulica tradicional, habiéndose iniciado la construcción de un nuevo consenso que dará lugar a un "nuevo paradigma de la política hidráulica", con énfasis en el control de la demanda, utilización de incentivos económicos para emisión de "señales de escasez" y una "red de política hidráulica" más amplia, orientada a una deliberación continua y ordenada de los problemas del agua en un gran espacio público, con intervención de nuevos actores y público en general. [Pérez-Díaz, V. et al. (1996)].

## 2. EL DESARROLLO SOSTENIBLE

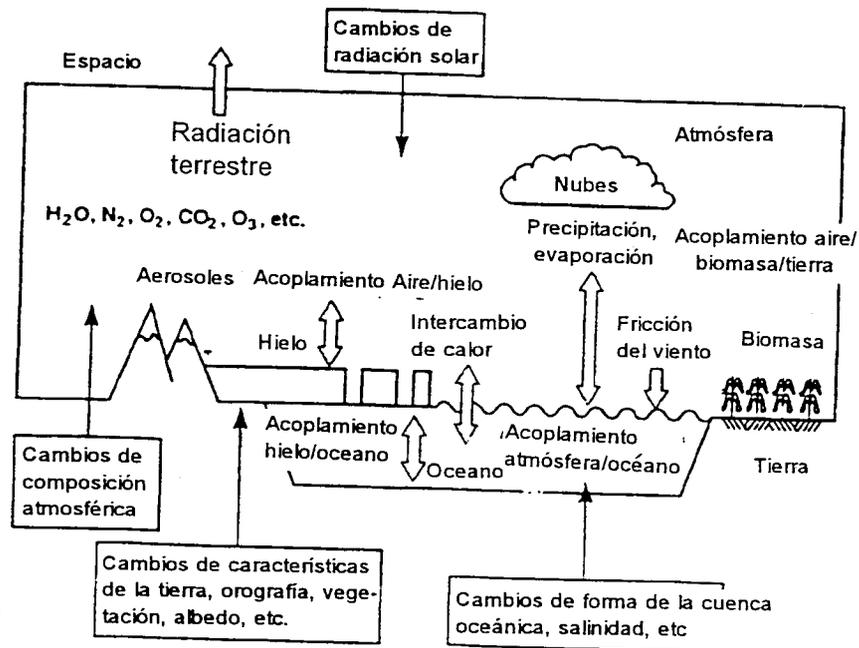
El informe del Club de Roma: "Límites al Crecimiento", puso en evidencia las limitaciones de la

economía Keynesiana y eliminó la creencia del crecimiento infinito. El mundo tiene sus límites en la escasez de sus recursos naturales, de la energía, o del suelo con aptitud agrícola, o a través de la producción de desechos que no pueden ser eliminados sin dañar el medio ambiente. Este informe, básicamente se ha verificado a través de estudios más elaborados y exhaustivos, poniéndose de manifiesto que es necesario realizar algunos tipos de acciones con el objeto de cambiar las perspectivas de un futuro en el cual la tierra no sea capaz de soportar las demandas de una superpoblación calculada entre 11.300 (Banco Mundial) y 17.600 (Naciones Unidas) millones de habitantes al final del siglo XXI.

Existen una serie de hechos que no pueden ignorarse y que tienen una incidencia directa en el clima: acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, la disminución del ozono estratosférico y el explosivo crecimiento poblacional.

El sistema del clima de la tierra es un sistema complejo y cerrado (excepto para la energía de radiación que se pierde en el espacio). La acción del hombre (consumo de combustibles fósiles, la deforestación, la pavimentación de los campos, etc.) está alterando el clima. En la Figura 2 [Gates (1979)], se indica una ilustración esquemática del Sistema Climático de la Tierra, en donde se puede observar cómo los distintos gases absorben la radiación y cómo cambiando la composición de la atmósfera, se afecta la capacidad para absorber la radiación.

Se indica los diversos intercambios de energía y masa entre los océanos y la superficie de la tierra y la atmósfera, los efectos perjudiciales de los aerosoles, los cambios en la radiación solar y terrestre, el muy fuerte impacto de las nubes sobre el balance de la radiación, el ciclo de la humedad atmosférica en forma de precipitación y evaporación, la interacción de la biomasa, no únicamente con la tierra a través de la evapotranspiración del agua, sino afectando el albedo y al intercambio de gases con la atmósfera, el cambio de los océanos en términos de su biomasa, almacenamiento y capacidad de transporte de calor, el cambio en la forma de las cuencas oceánicas y su salinidad.



**FIGURA 2.** Ilustración esquemática del Sistema Climático de la Tierra [Adaptado desde Gates (1979)].

No solamente la población crece rápidamente sino que el impacto per cápita también aumenta rápidamente, tanto como el aumento del consumo de los combustibles y recursos, para soportar las mejoras en el estándar de vida de la población. Así, estas mejoras requieren el consumo de más recursos y a la vez provocan mayores impactos en el medio ambiente a través de la producción de los gases de efecto invernadero (greenhouse), la deforestación, la alteración del uso del suelo y la destrucción de los hábitat

faunísticos. [Ehrlich and Ehrlich (1990)].

Entonces, ¿Qué debemos hacer?. Una posible contestación se recoge en el **concepto de desarrollo sostenible propuesto por la Comisión Brundtland (1987): "...desarrollo que asegura que se satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones a satisfacer sus propias necesidades"**.

Una mayor aclaración del significado de sustentabilidad ha sido propuesto por Bruce (1992):

"**Primero**, el desarrollo no debe dañar o destruir el soporte de vida fundamental de nuestro planeta: el aire, el agua y el suelo, junto con los sistemas biológicos. **Segundo**, el desarrollo debe ser económicamente sostenible para proveer un flujo continuo de bienes y servicios, derivados de los recursos naturales de la tierra. **Tercero**, se requiere sistemas sociales sostenibles a nivel internacional, nacional, local y familiar, para asegurar una distribución equitativa de los beneficios de los bienes y servicios producidos y de los sistemas de soporte de vida sostenibles".

En la conferencia de Río de Janeiro se puso en evidencia que el Desarrollo Sostenible implica un requisito fundamental y es la estabilidad de las naciones en un sentido muy amplio: poblacional, político-económico-social y de protección contra los riesgos naturales (terremotos, huracanes, inundaciones, sequías, etc.). Desde una perspectiva amplia, la estabilidad es la clave del funcionamiento de las infraestructuras: vías de comunicación en número suficiente y con un mantenimiento apropiado, sistemas de abastecimiento de agua que sean adecuados y en un buen estado de funcionamiento, la agricultura que tenga un buen sistema de distribución para sus productos. En esta categoría debemos situar los sistemas de recursos hidráulicos: su funcionamiento contribuye a la estabilidad.

## 2.1 LOS MODELOS CLIMÁTICOS

Con el objeto de caracterizar los parámetros y las variables más importantes y poder predecir los efectos de dichas variables externas (impacto del hombre) en el sistema climático global, algunas instituciones de reconocido prestigio internacional han desarrollado sus propios modelos climáticos.

Los parámetros constituyen las principales leyes y relaciones del funcionamiento interno del modelo. Las variables son los datos de entrada (escenarios) que se alimenta al modelo como acciones (inputs), con el objeto de conocer la respuesta del sistema.

En la figura 3 [Fisk (1992)], se indica un diagrama esquemático de cómo interactúan el sistema físico climático y los ciclos biológicos, entre sí y con las acciones externas de la energía solar; los volcanes actuando a través de la atmósfera y acoplándose con la dinámica oceánica, la energía terrestre y la humedad, la humedad global, los gases del efecto invernadero, y toda la química troposférica interactuando con las actividades humanas, que representan un input al modelo global. Como se observa, el sistema es altamente interactivo y la importancia de la humedad global (en el centro del diagrama) en todos los aspectos del sistema climático.

Las dos variables que se consideran como acciones externas debidas a la acción de la humanidad sobre el medio ambiente son:

- Crecimiento poblacional.
- Producto Interior Bruto de las distintas regiones.

El punto débil de estos modelos es que los escenarios a simular deben asumirse, aunque las asunciones se basen en las mejores hipótesis de las variables involucradas, contienen una incertidumbre inherente en los datos de entrada del modelo. Las estimaciones obtenidas en la actualidad por los diversos modelos climáticos difieren de unos a otros. En la Figura 4 [Theon (1993)], se indica el resultado obtenido en la estimación del incremento de temperatura global, en un pronóstico futuro de 90 años. Los resultados corresponden al Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), al Max-Planck Institute for Meteorology (MPI), al United Kingdom Meteorological (UKMO), al National Center for Atmospheric Research (NCAR) y al IPCC 1990 Scenario A "mejor estimador". Mientras todos los modelos muestran la misma tendencia y difieren muy poco en la situación actual; sin embargo, los pronósticos de temperatura a 90 años muestran una diferencia del orden de 1 °C; siendo este error de pronóstico mayor que el provocado en el efecto invernadero por el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (0,7 °C).

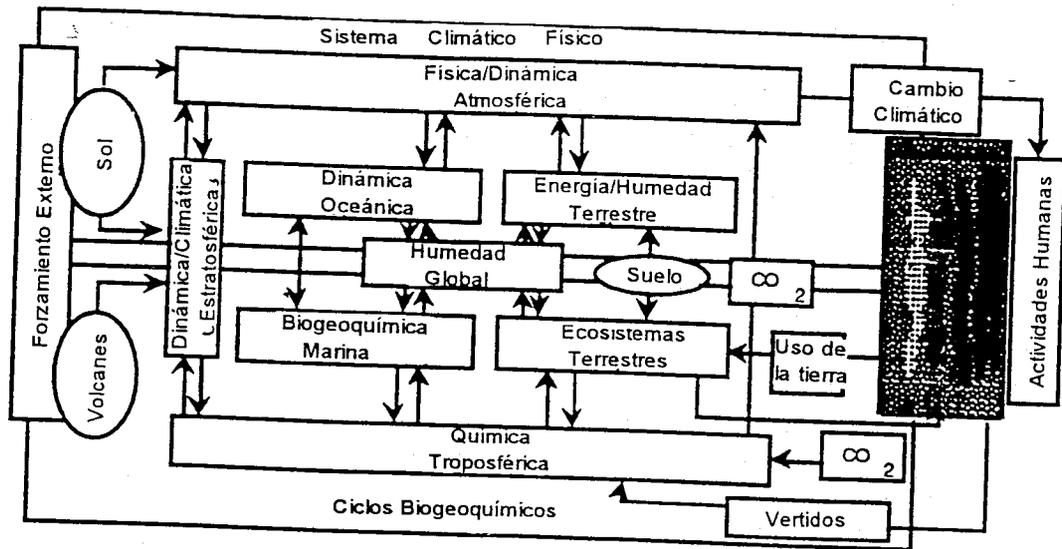


FIGURA 3. Esquematación del Modelo del Sistema Climático de la Tierra [Adaptado desde Fisk (1992)].

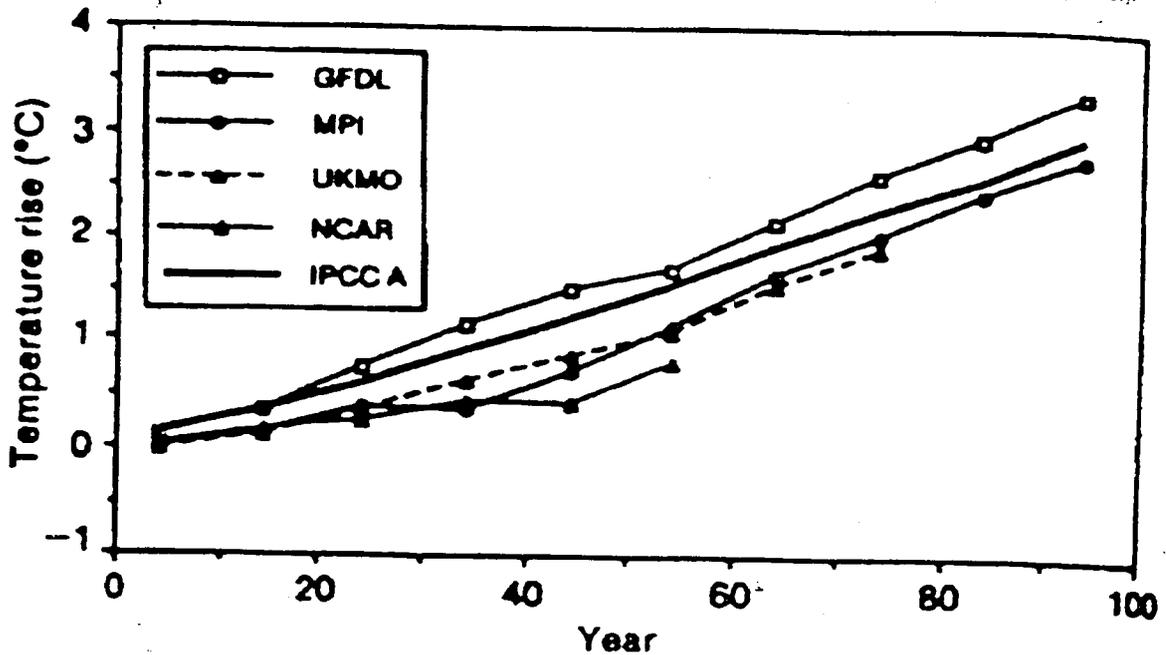


FIGURA 4. Simulación de la temperatura promedio global en la superficie [Desde Theon (1993)].

Estas diferencias ocurren por las excesivas simplificaciones de los modelos. No modelizan adecuadamente las nubes, la forma en que los océanos y su circulación se acoplan con la atmósfera, ni el transporte y almacenamiento de calor en la profundidad de los océanos. Por lo tanto, aunque son unas herramientas muy valiosas y lo mejor que disponemos actualmente, todavía no cumplen con una verosimilitud de pronóstico adecuado. Por lo tanto, es necesario aplicar el método científico para llegar a resolver este impase. Primero y ante todo es necesario sistematizar y mejorar la adquisición de datos (mediciones) y observaciones del comportamiento del sistema en investigación. El análisis de las observaciones es importante para entender el comportamiento involucrado; así, para determinar qué variables son significativas y poder así establecer el efecto de cada variable o procesos sobre el comportamiento del sistema. Sin embargo, debemos reconocer que el sistema del clima es muy complejo

y que muchos de sus componentes no se conocen suficientemente en la actualidad.

La aplicación del método científico al problema del cambio climático global requiere de observaciones globales. Sin embargo, cerca de tres cuartas partes del globo están cubiertas por agua y, aunque hay mediciones desde las islas, barcos y boyas, la cobertura es incompleta y los datos son con frecuencia no fiables. Adicionalmente, existe una vasta zona de la tierra que está escasamente monitoreada. También se deben considerar los errores introducidos por la falta de calibración o instrumentación inadecuada, y los problemas de adquisición, procesamiento y distribución de dichos datos.

Establecer una red adecuada de observación convencional que cubra toda la superficie del globo, sería enormemente costoso. Requeriría la estandarización y la calibración de los sensores, la expansión del número de estaciones de observación, incluyendo las de recubrimiento de muchas áreas que ahora no se observan en absoluto. Esto podría fácilmente costar decenas de miles de millones de dólares al año. Esto, es sencillamente inabordable. [Theon (1993)].

Actualmente, los sensores remotos surgen como una solución alternativa, puesto que pueden cubrir amplias áreas con solamente un solo punto de medida. Si se usan desde una plataforma espacial, los sensores remotos pueden cubrir el globo completo y con la frecuencia que se requiera. Las calibraciones de los sensores pueden ser conocidas y revisados continuamente; y aunque no provean todas las medidas para los estudios del clima y el monitoreo, sin embargo, aportan un importante número de variables que se pueden observar desde el espacio. Utilizados en conjunto con las observaciones convencionales y algunos procesos de observación climáticos intensivos, es posible conseguir un significativo progreso sobre el entendimiento del sistema climático.

## 2.2 INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CICLO HIDROLÓGICO

El agua está íntimamente involucrada en las transformaciones energéticas de la atmósfera y en la regulación del clima. El vapor de agua es el más importante gas del efecto invernadero y los cambios de fase del agua son los responsables para la redistribución de aproximadamente la mitad de la energía solar absorbida en los trópicos, (la otra mitad es responsable de la circulación de los océanos). [Rielh and Simpson (1979)].

Uno de los más importantes impactos del calentamiento del planeta, tiene que ver con los patrones de precipitación. Cubasch, et al. (1991)], simularon los cambios de humedad del suelo en una década, considerando la hipótesis de una duplicación en la concentración del CO<sub>2</sub>. Obtuvieron que las zonas del planeta que experimentarían una notable disminución en la humedad del suelo, coincidirían con las zonas que actualmente son muy productivas a nivel agrícola, particularmente en Norteamérica y en una gran extensión de Suramérica. Es muy importante el impacto del calentamiento en las regiones templadas del planeta; si esto se llegara a materializar, afectaría enormemente al abastecimiento alimentario mundial.

En suma, si existiera un cambio climático, los principales impactos ocurrirían en el ciclo hidrológico. La precipitación y la evaporación tienen efectos importantes sobre la cantidad y la calidad del agua disponible, la humedad del suelo y la generación de energía hidroeléctrica. El nivel del mar subiría puesto que se produciría una expansión térmica del volumen de los mares y el deshielo de los casquetes continentales y de los glaciares. Es difícil predecir la magnitud del levantamiento, pero existen evidencias que indican que el calentamiento de 0,7°C producidos en el pasado siglo, han provocado un levantamiento del nivel del mar del orden de 25 cm. Sin embargo, el levantamiento no es uniforme, algunas zonas han experimentado un aparente descenso en el nivel del mar, mientras en otras zonas han experimentado un levantamiento mucho más grande, debido a los ajustes en el manto terrestre. La extrapolación al futuro de éstos valores es muy arriesgado, puesto que se trata de un fenómeno no-lineal dependiente del tiempo.

Los cambios en el clima podrían afectar los eventos extremos medioambientales. Podrían producirse sequías más prolongadas y avenidas (inundaciones) más violentas, más intensas y más frecuentes tormentas tropicales.

## 3. LOS RECURSOS HÍDRICOS Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo de los recursos hidráulicos es la acción que usa los recursos hídricos de una región para satisfacer las necesidades de la gente y de la industria, abasteciendo agua en suficiente cantidad y calidad, protegiendo a la gente de los riesgos de inundación y sequías, y protegiendo a la gente y a la

naturaleza de la contaminación. El desarrollo sostenible de los recursos hídricos es una actividad integrada que involucra aspectos técnicos y económicos, así como también políticas de recursos y, es únicamente un elemento más en la complicada estructura de una sociedad. **Los proyectos de recursos hídricos son sostenibles, si se dispone de agua de suficiente cantidad y calidad y en un precio aceptable, para satisfacer las demandas y los estándares de calidad de la población de la región, ahora y en el futuro, sin causar el deterioro al medio ambiente.**

Los recursos hídricos se desarrollan en respuesta a una necesidad, la cual puede ser sentida con gran urgencia. Los procedimientos políticos deben priorizar correctamente el uso del agua, no únicamente para las demandas de uso directo, sino también para el cuidado y mantenimiento de su ecosistema.

El Comité sobre Investigaciones del Agua (COWAR) de la Unión Científica Internacional (ICSU) de la Unión de la Asociación Técnica Internacional (UITA/UATI), definió cuáles son los requerimientos para un sistema de recursos hídricos sostenible, tanto para las fases de planificación, construcción, operación y mantenimiento [ver Jordan et al. (1993), Plate (1993) y Castillo E., L.G. (1996)].

La sustentabilidad debe ser la preocupación del planificador del proyecto y de todos los ingenieros y científicos involucrados en el proceso de planificación de un proyecto de recursos hídricos. Deben ser conscientes que la mayoría de los problemas ingenieriles pueden ser resueltos con las tecnologías existentes. **Sin embargo, la sustentabilidad da una nueva perspectiva a los problemas antiguos. Los conceptos de diseño existentes deben ser revisados y nuevos métodos deben ser examinados, siendo necesario en muchas situaciones, un nuevo entendimiento de las interacciones del sistema de los recursos hídricos con la naturaleza y la sociedad. Desde este entendimiento surge un catálogo de problemas, para los cuales se deben encontrar contestación: contestaciones que requieren inversiones en investigación y desarrollo tecnológico, de tal forma que el plan pueda satisfacer todos los requerimientos para la planificación de un sistema sostenible de recursos hídricos.**

**La ingeniería y la planificación no serán suficientes para garantizar un sistema sostenible. El mejor proyecto no será sostenible a menos que exista una estructura de gestión adecuada para la operación y mantenimiento del sistema.**

El desarrollo sostenible de los recursos hídricos necesita la fusión de la ingeniería tradicional con el medio ambiente. La extensión de responsabilidades de la ingeniería hidráulica a la socioeconomía acuática y a la ética medioambiental.

Las autopistas de la información ofrecen las perspectivas para gestionar los recursos hídricos a gran escala, interrelacionando los procesos que incluyen el clima, régimen del agua, ecología, sistemas oceánicos, socioeconomía, capacidad de gestión y políticas que permitan su formulación y viabilidad. Un objetivo fundamental constituye el disponer de modelos de pronóstico operacional soportados por redes de observación que cubran el aire, el agua y el suelo.

**Dado que en el sistema de sustentabilidad global existe un gran retardo de tiempo entre causa y efecto, la pregunta crucial es: ¿Está la gente consciente y preparada para seguir el curso de acciones necesarias para el desarrollo sostenible? La contestación a esta pregunta dependerá de la capacidad de los científicos para convencer a los líderes políticos, y de los líderes políticos para convencer a sus electores, para seguir acciones impopulares cuyos beneficios aumenten en lugares lejanos o en un futuro distante, y para subyugar su bien establecida comodidad personal a los grandes requerimientos de un mundo desarrollado y sostenible. En los proyectos de desarrollo sostenible de recursos hidráulicos, los científicos e ingenieros en recursos hídricos pueden ser un buen grupo de ejemplo de cómo éstas acciones deberían acometerse. Éste es el reto del desarrollo sostenible de los recursos hídricos.**

Como ya se indicó en la introducción de este artículo, actualmente nos encontramos en el proceso de construcción de un nuevo consenso sobre política hidráulica, lo que dará lugar a un "nuevo paradigma de la política hidráulica", constituyendo sus **principales contenidos de tipo sustancial** [sustitución de la política de aumento de la oferta de recursos hídricos, por una política equilibrada con énfasis en el control de la demanda], **de gestión** [sistema orientado hacia la utilización de incentivos económicos para la emisión de "señales de escasez", en forma de precios y derechos limitados de comercialización del agua, con una mezcla prudente de instrumentos de regulación y de mercado] y **modelo de deliberación y decisión** [rediseñando una "red de política hidráulica" más amplia, orientada a una deliberación continua y ordenada de los problemas de la política del agua en un gran espacio público, con intervención tanto de los nuevos

actores (grupo de ecologistas, comunidades autónomas, etc.) como público en general]. Con esto se formula una propuesta de política de agua que sea económicamente eficiente, políticamente viable, medioambientalmente razonable y consistente con un objetivo de solidaridad interregional. [Pérez-Díaz, V., et al. (1996)].

Para llevar a la práctica la propuesta, se requiere de la integración de dichas medidas en un campo técnico-económico-social más amplio, con el cual podamos desarrollar con éxito el nuevo paradigma de la política hidráulica. En este contexto, se discute en los siguientes apartados la nueva corriente de la economía del cambio tecnológico.

#### 4. ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO Y POLÍTICA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

La economía del cambio tecnológico es un fenómeno reciente. Aunque a finales del siglo XVIII ya estaba perfectamente incorporada en el análisis económico, su consideración fue solamente circunstancial. La teoría neoclásica incorporó a la organización científica de la economía dentro de la microeconomía; recuperándose esta tradición con Schumpeter (1939) (1950).

En el modelo clásico de la economía, el cambio tecnológico se analiza de una forma muy difusa, únicamente se observan los efectos del cambio tecnológico e innovación y no sus causas. El reto es encontrar el Equilibrio Marginal (Principio de Pareto-Mercado ideal para obtener regla de medida). Se supone que la situación de equilibrio la proporciona el mercado de forma automática; siempre y cuando no existan externalidades o defectos del mercado. Sin embargo, el principio de Pareto no es útil en la Economía del Cambio Tecnológico.

En el nuevo modelo de la economía del cambio tecnológico, la empresa interioriza el cambio técnico, tratando de explicarlo, considerando a la tecnología como variable fundamental [Freeman, C. (1991)].

En términos generales, el crecimiento económico puede darse como resultado de cuatro procesos diferentes: **Inversión** (aumento del capital social); **Expansión comercial**; **Efectos por escala** o tamaño y **Aumento del caudal de conocimientos humanos**. En este último proceso se incluye el progreso tecnológico así como los cambios en las instituciones y se denomina "proceso schumpeteriano", en honor de Joseph A. Schumpeter, quien definió el "crecimiento como la expansión capitalista que se deriva de un proceso continuo, aunque fluctuante, de cambio e innovación tecnológica, financiado por la extensión de créditos". Por progreso tecnológico se debe entender cualquier cambio en la aplicación de la información al proceso de producción con el fin de aumentar la eficacia, y cuyo resultado sea la producción de determinados productos con menos recursos (es decir, con menos costes) o de productos nuevos o mejores.

Los mecanismos causales o "ideas", constituyen las acciones que los Estados toman en materia económica (tipos de interés, tipo de cambio de la moneda, etc.). Una equivalencia en las Políticas de Ciencia y Tecnología, se traduce, ya sea en políticas que potencien la invención y la iniciativa de innovación, o en políticas que potencien la difusión de la tecnología (caso Japonés). [Sanz, M.L., Muñoz, E. y García, C.E. (1993); Castillo E., L.G. (1996)].

De los estudios realizados para dar respuesta a la "Paradoja de la Productividad" planteada por Robert Solow: ¿Por qué no hay desarrollo Tecnológico-Económico, como cabría esperarse, después de haber invertido grandes sumas de dinero en forma sostenida en Investigación y Desarrollo?; las principales conclusiones son las siguientes [OECD (1992)]:

- La innovación es un proceso complejo, no lineal.
- La Empresa constituye el elemento clave del proceso.
- Los recursos humanos tienen una importancia fundamental.
- La Autarquía Tecnológica es imposible.
- El nuevo Paradigma Técnico-Económico es la Tecnoglobalización.

De esta forma, el modelo clásico lineal del desarrollo y crecimiento técnico-económico, en función de únicamente la cantidad de fondos para investigación, está totalmente superado, sabiendo que a más de la Investigación y Desarrollo, es necesario promover políticas de innovación tecnológica, las mismas que deben tener asociada la comercialización de los productos. [OECD (1994), (1992), Sánchez, M.P. (1995)]. Por tanto, para que exista el proceso de Innovación Tecnológica, es necesario asociar a los inventos, la adecuada comercialización; constituyendo así el llamado "Modelo Interactivo de la Innovación". De todo lo anterior se concluye que la **Tecnología no es únicamente Información, sino Conocimiento**.

En general existen **tres tipos de conocimiento para la innovación** [García, C.E. (1995)]: el **Conocimiento Científico** (Codificado o explícito), el **Conocimiento Tácito** (Implícito) y el **Conocimiento de Red** (Relaciones).

**El Conocimiento Tácito** es la capacidad y competencia de transformar la información y el conocimiento [experiencia, saber hacer (know-how), rutinas, prácticas organizativas].

**El Conocimiento Codificado** es toda la información existente y que puede llegar a constituir un conjunto estructurado de datos.

El conocimiento tiene diferentes tipos de problemas: problemas de información, problemas de riesgo, problemas de incertidumbre, etc.

Las principales condiciones de formación del mercado que favorecen la innovación dependen del Sector de Actividad y del País. Las variables fundamentales que se deben considerar son las Condiciones de Oportunidad Tecnológica y el Grado de Apropiabilidad de la Innovación.

**Los fenómenos de Tecnoglobalismo** [Archibugi, D. and Michie, J. (1994)], constituyen una etapa de la internacionalización de la economía, propiciándose por el uso de las nuevas tecnologías (estructura global de los mercados). Las leyes nacionales son cada vez más inoperantes, cuando intentan algún grado de proteccionismo; sin embargo, son valiosísimas cuando actúan como moderadores y potenciadores de la innovación tecnológica. Así, la política local es determinante de las capacidades del País. En la Generación Global de la Tecnología, se involucran exclusivamente las empresas. Se supone que se genera la tecnología no únicamente en la casa Matriz, sino que también en sus filiales. Sin embargo, el grado de descentralización tecnológica depende del grado de desarrollo del país filial y del tamaño del mercado. Los últimos trabajos de Pattel y Pavitt (1994) han demostrado que esta forma se produce más lentamente. Así, el núcleo de la tecnología se queda en el país Matriz, descentralizándose únicamente las últimas fases de desarrollo. De ahí, la necesidad de recalcar nuevamente en la importancia de la política local, puesto que es determinante de las capacidades del país.

#### 4.1 LAS PATENTES

De los indicadores utilizados para medir la innovación, las Patentes constituyen el indicador menos malo, captando mejor la presencia de las Pequeñas Empresas. Constituye un documento público, que ofrecen una protección administrativa, que garantiza la explotación del producto en régimen de monopolio por un período de tiempo de 20 años. La patente es la única forma de entrar en el mundo científico a través del desarrollo industrial. Las tres principales condiciones para patentar son: Novedad-Invención-Aplicación Industrial.

Existen tres tipos de patentes: Patentes de Producto, Patentes de Procedimiento y Patentes de Uso.

Las patentes se diversifican de acuerdo a tres efectos principales: Efecto país-Efecto sectorial-Efecto propio de la empresa.

- **Efecto país:** En un mundo globalizado, no solo que no ha perdido importancia el país, sino que ha ganado fuerza. La incidencia del efecto país depende de los siguientes elementos:

- factores culturales

- razones históricas (trayectorias históricas)

- Elementos Institucionales: Educación-Empresas-Relaciones Empresa-Universidad

- **Efecto Sectorial:** Está en función de las distintas agrupaciones sectoriales.

Un indicador importante es la "Ventaja Tecnológica Revelada"  $[RTA = [Pe_i/Pw_i]/[Pe/Pw]]$ . En donde:  $Pe_i$  = Patentes de país en un sector  $i$ ;  $Pw_i$  = Patentes totales del sector;  $Pe$  = Total de patentes del país;  $Pw$  = Total de patentes en el mundo.

Si:  $RTA > 1 \rightarrow$  País en ese sector se comporta bien.

Si:  $RTA < 1 \rightarrow$  País se comporta peor en ese sector.

A partir de estos resultados, se obtienen los Mapas de Ventajas y Desventajas Tecnológicas.

De todo lo anterior, podemos concluir que los sistemas innovadores chocan con la política liberal a ultranza. Se necesitan instituciones nacionales fuertes y que convenientemente conectados entre sí, propicien y fomenten la creación de empresas nacionales también fuertes. Los Sistemas Nacionales de Innovación deben servir para aumentar la generación del conocimiento, pero además deben llegar al tejido industrial del país; debiendo entonces existir un Sistema Nacional de Distribución [Davis, S. (1987), Foray,

D. (1990); por medio del cual se tenga la capacidad de difundir los conocimientos en tiempo y modo adecuado para la optimización de la producción. Es decir, que los conocimientos sean directamente utilizados en el desarrollo del país.

#### 4.2 EFECTOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA SOBRE EL DESARROLLO ECONÓMICO

El desarrollo del conocimiento científico se puede describir en tres fases [Kuhn (1973)] :

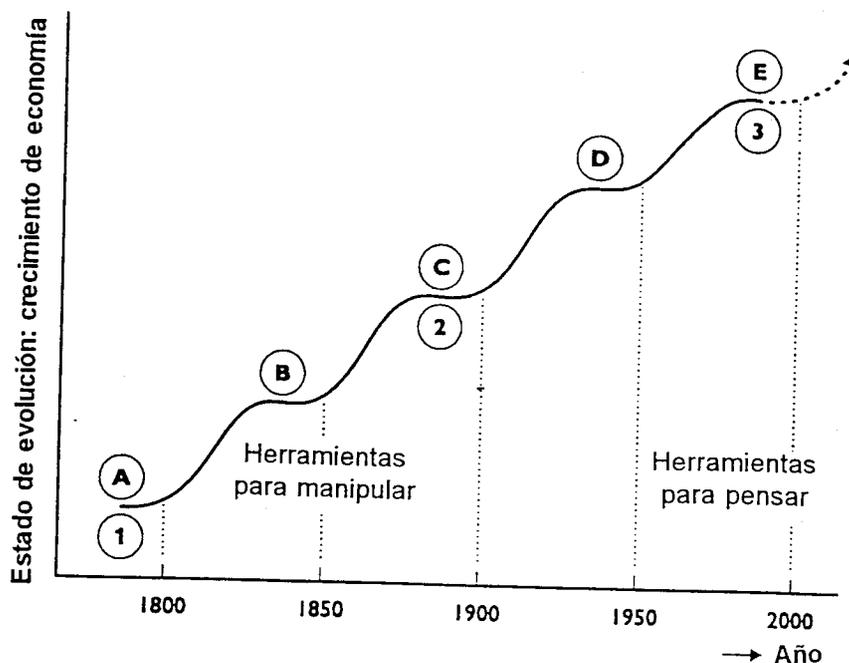
- Período de "ciencia normal": La investigación se realiza en función del paradigma existente y el conocimiento científico se desarrolla acumulativamente.
- Período de "crisis": El paradigma se vuelve indefinido; aparecen teorías alternativas que intentan explicar las anomalías.
- Período de "revolución": Innovación del conocimiento; transición a un nuevo paradigma.

Así, Kuhn caracterizó el "desarrollo científico como una sucesión de períodos tradicionales, separados por cambios no acumulativos".

Los investigadores rusos de economía [Kondratieff (1925)] y de ciencias [Rainoff (1929)], asociaron a "las funciones tipo onda fluctuante, con el desarrollo"; denominándose "Ciclos de Kondratieff". Posteriormente se definió este concepto en una forma más detallada [Schumpeter (1939)(1950)].

La experiencia pasada demuestra que las innovaciones tecnológicas actúan como estimulantes del desarrollo económico; éste siempre se inicia como consecuencia de las innovaciones técnicas extraordinarias [ver figura 5. Hofman, E. (1985)].

El concepto de los "Ciclos de Kondratieff" también describen bastante bien el desarrollo de la ciencia. Cada nueva teoría científica generalmente alimenta el núcleo del conocimiento contenido en las siguientes teorías.



- |  |  |
|--|--|
| A - Máquina de vapor, telar mecánico, tecnología del acero   | 1 - Fuerza muscular ----> Fuerza motriz llamado 1ª revolución industrial         |
| B - Ferrocarril, telégrafo, fotografía                       | 2 - Producción industrial (línea de ensamblaje) llamada 2ª revolución industrial |
| C - Motor/coche, electrificación, química                    | 3 - "Inteligencia Artificial" transición a "era post/industrial" ?               |
| D - Energía nuclear, electrónica, m. sintéticos              |  |
| E - Micro-electrónica, fibra de vidrio, laser, biotecnología |  |

**FIGURA 5.** "Ciclos de Kondratieff" de la situación económica mundial [Adaptado desde Hofman (1985)].

El desarrollo en general, es el proceso de crecimiento y cambio estructural de una región o país, produciendo bienes para la satisfacción de las necesidades de la población. A través del desarrollo se ingresa en el campo del Bienestar.

**Los principales tipos de bienes que genera el desarrollo son:**

- **Industrialización:** Innovando en el área de los bienes industriales (por ejemplo en la industria agroalimentaria).

- **Tasa de crecimiento** continuo a largo plazo: Incremento de la productividad.

Estos bienes pueden generarse gracias a la introducción de la tecnología, tanto en la inversión en programas de formación en recursos humanos y en la aplicación de la Ciencia y Tecnología al Capital.

Los tres grandes objetivos estratégicos para el desarrollo: Eficiencia-Equidad-Entorno (Medio Ambiente), han estado en conflicto; habiéndose resuelto, buscando un "equilibrio móvil" entre los objetivos; priorizando un objetivo (generalmente la eficiencia) y usando como parámetros los otros dos.

Las principales actividades de la Economía (Agricultura-Industria-Servicios), siempre han estado en transición. Actualmente, los niveles de productividad en Agricultura e Industria, se invierten en Servicios, con el objeto de satisfacer las necesidades de la población.

El indicador más usado para medir el nivel de satisfacción es el Producto Interior Bruto (PIB), que representa la producción de cada persona en un año. Pero el nivel de satisfacción es un estado de stock y el PIB no lo mide adecuadamente, por las siguientes razones principales: -el PIB sólo mide un flujo y no una satisfacción -sólo mide los bienes que se comercializan -es difícil medir el sector servicios (aspecto cualitativo).

Por esta razón; sería necesario desarrollar nuevos indicadores más representativos.

#### 4.3 FACTORES CLAVES DE LA PRODUCTIVIDAD

El incremento del bienestar económico y social de un país depende de dos factores principales:

- Consiguiendo que sus empresas vendan más y mejor en el mercado internacional (competitividad empresarial).

- Consiguiendo optimizar los gastos en las obras de infraestructuras; diseñando y construyendo mejores estructuras (seguras, económicas y duraderas) y adecuadamente integradas en su entorno.

En resumen, **la productividad está formada por dos factores claves: Los costos de producción y la calidad.** A esto hay que añadir la **Competitividad Estructural** que principalmente contempla, el poseer buenas infraestructuras (vías de comunicación, agua, teléfono, etc.) y la interrelación con las universidades locales y centros de investigación, entre otros.

Por tanto se destaca la importancia de los Sistemas Nacionales de Innovación y Distribución, debidamente interrelacionados con las Políticas de Desarrollo de Infraestructuras y enmarcados en un tipo de desarrollo denominado el "El Desarrollo Sostenible".

Dentro de este contexto, debemos analizar en qué medida las Políticas de Obras Públicas (Desarrollo de Infraestructuras) están concebidas y de qué forma se aplican, para fomentar la innovación tecnológica y, por tanto, el aumento de la productividad del País.

#### 5. CONCLUSIONES

- El prerequisite fundamental para el Desarrollo Sostenible es la "Estabilidad" de las naciones en un sentido muy amplio: poblacional, político-económico-social y de protección contra los riesgos naturales; de tal forma que se garantice una distribución equitativa de los beneficios de los bienes y servicios producidos; es decir, se necesita el desarrollo de sistemas económicos internacionales más justos.

- Puesto que el dominio del agua constituye un recurso estratégico de enorme peso específico en la economía de un país, su gestión tiene que interrelacionarse totalmente con las políticas económicas, científicas y tecnológicas. En este contexto, todas las conclusiones de la nueva corriente de la "Economía del Cambio Tecnológico", deben aplicarse al dominio del agua. El grado de desarrollo y la productividad de un país dependerá en gran medida en que dichas políticas fomenten y favorezcan la innovación tecnológica.

- Hasta ahora, los tres grandes objetivos estratégicos para el desarrollo [Eficiencia-Equidad-Entorno (Medio Ambiente)] se han encontrado en un conflicto continuo. Sin embargo, con el Desarrollo Sostenible no existe tal conflicto, sino que al contrario, constituyen objetivos complementarios.

## 6. REFERENCIAS

- Archibugi, D. and Michie, J. (1994). "La internacionalización de la tecnología: mito y realidad". Información Comercial Española, nº 276, febrero.
- Bruce, J.P. (1992). "Meteorology and Hydrology for Sustainable Development. WMO No. 769, Geneva.
- Brundtland, G.H. et al (1987). "Our Common Future". Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press.
- Castillo E., L.G. (1996). "Present Problematic of the Water Resources Planning in Spain and the World". Master Thesis in Science, Technology and Society. Business Administration Institute - Autonomous University of Madrid.
- Cubasch, U., Hasselmann, K., Hock, H., Maier-Reimer, E., Mikolajewicz, U., Santer, D.A. and Sausen, R. (1991). "Time-Dependent Greenhouse Warming Computations with a Coupled Ocean-Atmosphere Model. Pax Plank Instit. Meteorol. Rept. 67, Hamburg.
- Davies, S. (1987). "The Diffusion of Process Innovations". Cambridge University Press.
- Ehrlich, P.R. and Ehrlich, A.H. (1990). "The Population Explosion". Simon and Schuster Ed. New York.
- Fisk, L. (1992). "Report To Congress on the Restructuring of the Earth Observing System". National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC.
- Foray, D. (1990). "L'économie des redements croissants et l'économie de la firme innovatrice". TEP Technology and competitiveness Conference, Paris.
- Freeman, C. (1991). "The Nature of Innovation and the Evaluation of the Production System. Paris: OECD.
- Gates, W.L. (1979). "The Physical Basis of Climate". Proc. of the World Climate Conf. WMO No. 537, Geneva.
- Glazik, G. (1996). "Reflections cyclic developments and breakthroughs in hydraulics". IAHR Bulletin. Vol. 13. (Supplement to JHR - Vol. 34 - No. 2), The Netherlands.
- Hofman, E. (1985). "Chancen und Gefahren des nachindustrielle Zeitalters". Schweizer Ingenieur und Architekt, No. 9, p. 164.
- Jordan, J., Plate, E.J., Prins, J.E. and Veltrop, J. (1993). "Water in Our Common Future. A research agenda for sustainable development of water resources". International Hydrological Programme, Unesco, Paris.
- Kuhn, T.S. (1962). "The structure of scientific revolutions, University of Chicago.
- OECD (1994). "Assessing and Expanding the Science and Technology. Knowledge-Base". Working Group on Innovations and Technology Policy. Paris: OECD.
- OECD (1992). "Technology and The Economy. The Key Relationships". Paris: OECD.
- Patel, P. and Pavitt, K. (1994). "The nature and economic importance of national innovation system". STI, Science, Technology and Industry, n14.
- Pérez-Díaz, V., Mezo, J. y Álvarez-Miranda, B. (1996). "Política y economía del agua en España". Círculo de Empresarios. Madrid.
- Plate, J.E. (1993). "Sustainable water resources development". Memorial Seminar the Silver Jubilee on the Occasion of the XXV IAHR BIENNIAL CONGRESS. Tokyo, Japan.
- Riehl, H. and Simpson, J. (1979). "The Heat Balance of the Equatorial Through Zone Revisited". Contribution to Atmospheric Physics, 52, 287-304.
- Sánchez, M.P. (1995). "Efectos de la innovación sobre el empleo". Actas del V Congreso Nacional de ACEDE (Asociación Científica de Economía y Dirección de la Empresa). San Lorenzo de El Escorial (Madrid), 1995.
- Sanz, M.L., Muñoz, E. (1992). "Las políticas científicas y tecnológicas en España: desde la autarquía a la transición". Alfoz nº 93/94, 1992: 46-62.
- Sanz, M.L., Muñoz, E. y García, C.E. (1993). "Los problemas de coordinación en la política científica y tecnológica: liderazgo e institucionalización". Revista del Centro de Estudios Constitucionales nº 15, abril-agosto 1993, pp. 161-181.
- Schumpeter, J.A. (1950). "Capitalism, Socialism and Democracy, 3º Ed. New York: Harley & Row.
- Schumpeter, J. (1939). "Business cycles". McGraw Hill, New York.
- Theon, J.S. (1993). "Global warming and the environmental changes on the surface of the Earth". Memorial Seminar the Silver Jubilee on the Occasion of the XXV IAHR BIENNIAL CONGRESS. Tokyo, Japan.